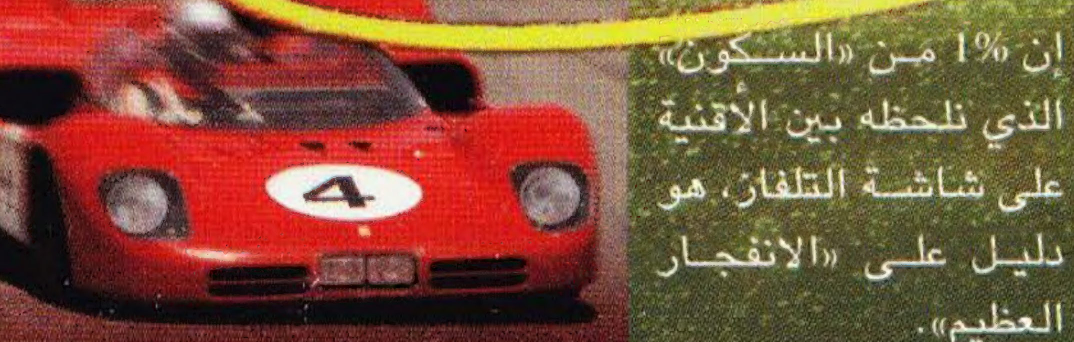
نظرية الكمية

Quantum Theory

لا يمكن أن تؤذيك

دليل إلى الكون



إن 1% من «السكون» الذي نلحظه بين الأقنية على شاشة التلفاز، هو دليل على «الانفجار العظيم».

كلما أسرعت أكثر أصبحت أشد رشاقة.

«كتاب غريبٌ، ومثيرٌ، ومحرّكٌ للعقل».

– مجلة «الطبيعة»



إذا تمّت إزالة الفراغ في الذرات، يمكن عندها وضع كامل الجنس البشري في حجم مكعب من السكر.

يبلغ وزن فنجان القهوة أكثر وهو حار مما هو بارد.

ماركوس تشاون







نظرية الكمية
Quantum Theory
لا يمكن أن تؤذيك

دليل إلى الكون

يضم هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنكليزي
The Quantum Zoo: A Tourist's Guide to the Neverending Universe
حقوق الترجمة العربية مرخّص بها قانونياً من الناشر
First published in the United States as THE QUANTUM ZOO in 2006 by Joseph Henry Press, 500 Fifth Street, NW, Washington, DC, 20001.
First published in the United Kingdom as QUANTUM THEORY CANNOT HURT YOU in 2007 by Faber and Faber Limited, 3 Queen Square, London, WC1N 3AH
Arabic edition is published by arrangement with the author, c/o Sara Menguc Literary Agent.
بمقتضى الاتفاق الخطي الموقّع بينه وبين الدار العربية للعلوم
Original Copyright © 2007 by Marcus Chown
All Rights reserved
Arabic Copyright © 2008 by Arab Scientific Publishers, Inc. S.A.L

نظرية الكمية
Quantum Theory
لا يمكن أن تؤذيك

دليل إلى الكون

تأليف

ماركوس تشاون

ترجمة

الدكتور يعرب قحطان الدّوري

المركز القومي للبحث العلمي - كون، فرنسا

رئيس تحرير المجلة الدولية لعلم المواد والمحاكاة





بسم الله الرحمن الرحيم

الطبعة الأولى

1429 هـ - 2008 م

ردمك **978-9953-87-300-8**

جميع الحقوق محفوظة للناشر



عين التينة، شارع المفتي توفيق خالد، بناية الريم

هاتف: 786233 – 785108 – 785107 (1-961+)

ص.ب: 5574-13 شوران – بيروت 2050-1102 – لبنان

فاكس: 786230 (1-961+) – البريد الإلكتروني: asp@asp.com.lb

الموقع على شبكة الإنترنت: http://www.asp.com.lb

إن مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم والدار العربية للعلوم ناشرون غير مسؤولين عن آراء وأفكار المؤلف. وتعبر الآراء الواردة في هذا الكتاب عن آراء المؤلف وليس بالضرورة أن تعبر عن آراء المؤسسة والدار.

التنضيد وفرز الألوان: **أبجد غرافيكس**، بيروت – هاتف 785107 (9611+)

الطباعة: **مطابع الدار العربية للعلوم**، بيروت – هاتف 786233 (9611+)

المحتويات

القسم الأول: أشياء صغيرة

القسم الثاني: أشياء كبيرة



كلمة المترجم

الحمد لله رب العالمين خالق السموات والأرض، والصلاة والسلام علـــى نبـــيه ورسوله المعلم الأمين، وعلى آله وصحبه أجمعين إلى يوم الدين.

يعتبـــر كـــتاب **نظرية الكمية The Quantum Zoo** لمؤلفه الرائد ماركوس تشون(*) Marcus Chown معاينة ومسحاً رائعاً للعالم الغريب والمـــدهش للنظرية الكمية والنظرية النسبية العامة لاينشتاين. والكتاب يقـــدم شـــيئاً مثيراً للاهتمام، فيأخذ القارئ إلى دوامة العالم داخل الذرة لاستكـــشاف الحقائق، ويعطي تعريفاً لما يلي النظريتين الكمية والنسبية، بـــل ويعـــين على فهم الافكار الاولية لفيزياء القرن الحادي والعشرين. ومن المثير للاهتمام ان المؤلف تجنّب التصورات الخيالية، وكتب الكثير عـــن هـــذه المواضـــيع، وهو خبير في كيفية التخلص من الحاجة إلى الإيضاحات.

ان شـــعورنا بحاجـــة القـــارئ العربـــي الكبيـــرة لمختلف العلوم والمعـــارف كـــان الحافـــز الرئيس لترجمة هذا الكتاب؛ تطويراً للتنمية

(*) نـــال ماركـــوس تـــشون شهادة البكالوريوس في الفيزياء من جامعة لندن، وشـــهادة الماجـــستير مـــن معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. مُنح جائزة الكاتب والمذيـــع، ويعمل مستشاراً في مجلة **عالِمٌ جديد**. يعيش حالياً مع زوجته في لـــندن. لـــه خمـــسة كتب صدرت ضمن سلسلة *العلوم الشعبية*، منها كتاب **نظرية الكمية** المطبوع بمطابع جوزيف هنري في واشنطن دي سي بطبعته الثانـــية الصادرة في حزيران/يونيو 2006، وقبلها الطبعة الأولى الصادرة في آذار/مارس 2006.

وإســـهاماً في خدمة الإنسانية عامة. دون أن ننسى الدور البارز لترجمة مخـــتلف علوم الأمم الأخرى إلى اللغة العربية، ابتداءً من أواخر القرن الأول الهجـــري الـــذي أسهم في نهضة علمية قل نظيرها في التاريخ، وأدت إلى تطور الأمة الإسلامية العربية.

ونأمـــل بعملـــنا المتواضـــع ان نـــرفد المكتـــبات العربية العلمية المتخصصة والعامة على حدٍّ سواء. ولا يفوتني أن أشكر الدكتور عمر يـــونس قاسم العاني الذي زودني بهذا الكتاب باللغة الإنكليزية، فله مني كل التقدير والاحترام.

المترجم

د. يعرب قحطان الدّوري

مُقـدِّمــة

إنّ أحد الأقوال التالية صحيح:

- كل نَفَس تستنشقه يحتوي على ذرة استنشقتها مارلين مونرو.
- يوجد سائل يمكن أن يصعد إلى الأعلى.
- يــزداد عمرك حين تكون فوق سطح المبنى بشكل أسرع منه حين تكون أسفله.
- توجد ذرة في أماكن عديدة في نفس الوقت، ما يكافىء وجودك في نيويورك ولندن في الوقت نفسه.
- البشرية قاطبة يتناسب حجمها مع حجم مكعب من السكر.
- انتقال الزمن ليس مستحيلاً طبقاً لقوانين الفيزياء.
- ستكون أنحف عندما تنتقل بسرعة.

آسف، انا لا امزح، كلّ ما ذكرته صحيح!

ككاتــب علوم، انا مندهش دائماً كيف ان غرائب العلوم أكثر من روايات الخيال العلمي، وكيف ان الكون مدهش أكثر من أي شيء يمكن اختــراعه. وبالــرغم من هذا، فإن عدداً قليلاً من الاكتشافات المتميزة خــلال القــرن العشرين الماضي يبدو أنه ضحل لدى الشعور والوعي العام.

ان الانجــازين الضخمين خلال المائة سنة الماضية هما النظرية الكمــية؛ أي نظــرتنا إلــى الذرات ومكوناتها، والنظرية النسبية العامة لاينــشتاين؛ أي نظــرتنا إلى المكان والزمان والجاذبية. وبينهما شرح افتراضي لكل شيء حول العالم وحول انفسنا.

وفـــي الحقيقة، يمكن القول ان النظرية الكمية صنعت فعلاً العالم الحـــديث، لـــيس فقط لشرح لماذا الأرض تحت اقدامنا، ولماذا الشمس تـــشرق، بـــل لـــصنع أجهـــزة الحاسوب والليزر والمفاعلات النووية. والنظـــرية النسبية ربما غير موجودة في كل مكان في عالم اليوم. لكن تعلمنا ان هناك أشياء تسمى الثقوب السوداء لا يُستدل عليها بأي شيء؛ حتى أنه لا أثر للضوء فيها، وان الكون غير موجود منذ القدم لكنه وُلد بفعل جبار، حيث أخذ الزمان حيزه بعدئذٍ.

وبالـــرغم مـــن انـــي قـــرأتُ الكثير من الكتب العلمية حول هذه المواضـــيع، الا ان تفـــسيرات ذلـــك تركتنـــي محتاراً حتى مع خلفيتي العلمـــية. لـــذا أستطيع ان اخمن أو اتوقع ما الذي يجب أن يكون عليه الأمر بالنسبة لغير العلماء.

قال اينشتاين: "معظم الافكار الأساسية للعلوم هي بالأساس بسيطة، ويمكن شرحها بلغة يفهمها الجميع". وحسب خبرتي، كان اينشتاين على صـــواب. وفكرتي لكتابة هذا الكتاب هي لمساعدة الناس العاديين على فهم الافكار الأساسية لفيزياء القرن الحادي والعشرين. وكل ما كان عليّ فعلـــه هـــو تعريف الافكار الرئيسة فيما بعد النظريتين الكمية والنسبية، على حدٍّ سواء، والتي اتضح أنها بسيطة جداً، وبعد ذلك إظهار كيف ان بقية الأشياء تتبع الطريق نفسه بصورة منطقية وغير مشكوك فيها.

فالقـــول أســـهل من الفعل. النظرية الكمية هي مزيج من كسور، نـــشأت خلال السنوات الثمانين الماضية، فليس لأي كان ان يخيط ثوباً بـــدون درزه. هـــناك أفكار بارزة لهذه النظرية، مثل *التشتيت* – الذي يـــشرح كيف أن الذرتين وليس الناس ممكن ان تكونا في مكانين بنفس الوقت – والتي يبدو انها خارج قدرة الفيزيائيين للتواصل بطريقة ذكية. وبالتـــشاور مع خبراء آخرين والتفكير جدياً ان *التشتيت يجب أن* يسمى *التـــشتت*، اتضحت لي فكرة ان الخبراء ربما هم أنفسهم لم يفهموا ذلك.

وهـــذا أحــــد اســـاليب حــــرية الرأي. وعليه فصورة التناسق تبدو غير موجودة.

ولأن صــــورة التناســـق تبدو غير موجودة، فلقد أدركت أن عليّ تكـــوين صـــورتي الخاصة بي عن طريق جمع المعلومات بحكمة من مخـــتلف الأشــــخاص. ولذا فإن معظم الشروحات المعطاة هنا لا يمكن ايجادها في مكان آخر. وآمل ان يُرفع جزء من الضباب المحيط بافكار الفيـــزياء الحديـــثة، وبذلك نستطيع البدء بتقييم الكون المدهش والمذهل الذي نعيش فيه.



القسم الأول

أشياء صغيرة



1

استراحة قصيرة مع اينشتاين

كيف اكتشفنا أن كل شيء مكون من ذرات معظمها فضاء فارغ

ذرة الهيدروجين في خلية بنهاية أنفي كانت جزءاً من خرطوم الفيل

جوستن غادر

لـم نـبدِ أي اهتمام باستخدام السلاح، ولكن كان ذلك أشبه بسباق مـزعج وعسير. فلقد كانوا مصرّين على رؤيتنا "كأعداء"، بالرغم من جهـودنا لإعـادة الامن. فعندما أطلقت النار على مخزونهم النووي في سفينتنا، حلّقوا بدار أعلى فوق كوكبهم الازرق، فبدأ صبرنا ينفذ.

السلاح كان بسيطاً لكن فعالاً. وقد أفرغت المادة من محتواها الفارغ.

تفحّـص آمـر حملتنا السرياني المكعب المعدني المضيء، بطول 1سـم، ثـم هزّ رأسه يائساً. كان من الصعب أن نصدق ان ذلك يوافق "البشرية قاطبة"!

ان كانـت فكـرة أن البشرية قاطبة توافق حجم مكعب من السكر أشـبه بـروايات الخـيال العلمي، فلتفكر ثانية. فالجدير بالملاحظة ان 99.9999999999999 بالمائـة من حجم المادة الاعتيادية هو فضاء فـارغ. وإذا كانـت هـناك طريقة لإخراج الفراغ من ذرّات اجسامنا، فالبشرية قاطبة ستتوافق مع الفراغ الموجود في مكعب السكر.

إن الفــراغ المروع في الذرات هو من السمات المميزة للاحجار المكــونة للمادة. وعلى الجانب الآخر، فهناك 10 ملايين ذرة موضوعة بعضها قرب البعض الآخر على اتساع هذه الصفحة، وهنا يبرز السؤال التالي، كيف اكتشفنا ان كل شيء مكون من ذرات في المقام الاول؟

فكــرة ان كــل شيء مكون من ذرات كانت للفيلسوف الاغريقي ديموقــريطيس حوالى 440 ق.م[1]. ولرفع صخرة – أو جزء منها أو قِــدْر طينــية – ســأل ديموقريطيس نفسه السؤال التالي: "إذا استطعت تقطــيع صــخرة إلــى نــصفين، ثم إلى نصفين آخرين، هل أستطيع الاســتمرار بالتقطيع إلى انصاف إلى الابد؟" جوابه كان بالتأكيد *لا*. فلم يكــن مقتنعاً ان المادة يمكن أن تتنصّف إلى الأبد. عاجلاً ام آجلاً، أدرك ديموقــريطيس ان ذرة صــغيرة من المادة يمكن أن تصل إلى حالة من الــصغر بحــيث لا يمكن تقطيعها. فالاغريق سموا الشيء غير القابل للتقطــيع انه *a-tomos*، وديموقريطيس سمى أحجار المبنى الافتراضي للمادة بأنها *ذرات*.

فالــذرات تبدو صغيرة جداً بالنسبة للحواس، والدليل على رؤيتها يــبدو صعباً. ومع ذلك، فالرياضي السويسري دانيال برنولي، أوجد في القــرن الــثامن عــشر طــريقة لذلك، فبالرغم من ان الذرات تستحيل مشاهدتها مباشرة، لكنّ ذلك ممكن بصورة غير مباشرة، وعلل ذلك بأنه إذا كان هناك عدد كبير من الذرات المجتمعة، فهناك تأثير كبير وكافٍ لتكون واضحة في عالم اليوم. وكل ما احتاجه دانيال برنولي هو مكان في الطبيعة لحدوث ذلك، فوجد ضالته في *الغاز*.

---

(1) بعض هذه الافكار ذكرتها في كتابي السابق **الزمن السحري** (مطبعة جامعة أكــسفورد، نيويورك، 2001)، ومعذرة لمن قرأه. فمن الضروري معرفة بعــض الأشياء الأساسية عن الذرة لتقييم الفصول التي تلي النظرية الكمية؛ أساس نظرية العالم الذري.

تخـيّل برنولــي ان الغاز عبارة عن هواء أو بخار يحتوي على مليارات المليارات من الذرات في حركة مجنونة ومتواصلة تشبه سرباً من النحل الغاضب. هذه الرؤية المفعمة بالحيوية تشبه ضغط الغاز الذي ابقــى الــبالون منتفخاً، أو الضغط المندفع نتيجة كبس محرك البخار. وبوضــع هــذه الــذرات في حاوية، فالذرات ستضرب بقوة الجدران الداخلــية للحاوية كضرب حبات البَرَد على سقف قصديري، مولّدة قوة شديدة حسب أحاسيسنا الخشنة؛ أشبه بقوة ثابتة تدفع الجدران للخلف.

لكــن تفــسير برنولــي الدقيق للضغط أعطى توضيحا أكثر من الــصورة الموجــودة في عقلنا عن استمرار الحركة في الغاز. وبشكل حاسم، قاد ذلك إلى توقع محدد. فعند ضغط الغاز ليصبح بنصف حجمه الاصــلي، تطيــر ذرات الغاز إلى نصف المسافة بين التصادمات مع جدران الحاوية، فتتضاعف التصادمات مع الجدران، وبالتالي يتضاعف الضغط. وإذا استمر ضغط الغاز ليصبح بثلث حجمه، فالذرات ستتصادم ثــلاث مــرات، والــضغط سيزداد إلى ثلاثة اضعاف، وهكذا تتواصل العملية.

العالم الانكليزي روبرت بويل لاحظ عام 1660 السلوكيات الذرية للغــاز، مــؤكدا رؤيــة برنولي للغاز. هذه الرؤية تشبّه الذرات لحبات صغيرة تطير هنا وهناك في فضاء فارغ، ما أيّد وجود الذرات. ورغم هذا النجاح، فالدليل على وجود هذه الذرات لم يُتوصّل إليه لغاية القرن العشرين. فقد كان مطموراً في ظاهرة سميت الحركة البراونية.

ســميت هذه الحركة بالحركة البراونية نسبة إلى روبرت براون، عــالم الاحــياء الــذي ابحر إلى استراليا في بعثة صغيرة عام 1801. وخلال إقامته هناك صنّف براون 4,000 عينة من النباتات المتناقضة، مكتــشفاً نوى خلايا الحياة، بالإضافة إلى ملاحظته عام 1827 لحبوب اللقــاح المعلقة بالماء. وبالنسبة لبراون – من خلال النظر عبر عدسات

التكبيـــر - تبدو حبوب اللقاح وكأنها خاضعة لحركة عاصفة غريبة، ما يجعل طريقها عبر السائل متعرجاً كسكير متمايل في مشيه من محل بيع الخمور إلى منزله.

ان بـــراون لم يحل سطلقاً لغز حبات اللقاح المستعصية. فلقد كان هـــذا الاكتشاف منتظراً مجيء البرت اينشتاين الذي كان يبلغ من العمر 26 ســـنة. ففـــي *السنة الاعجوبية* عام 1905 لم يكن اينشتاين قد هزم نـــيوتن باســـتبدال أفكار نيوتن في الحركة بنظريته النسبية الخاصة، بل اخترق 80 عاماً من لغز الحركة البراونية.

ان سبب الرقص الجنوني لحبات اللقاح - كما فسر اينشتاين - هو أن الحـــبات كانـــت تحت تأثير قذف مستمر لجزيئات الماء الصغيرة. تصور كرة مطاطية عملاقة قابلة للنفخ، واطول من قامة الإنسان، دُفعت إلـــى عدد كبير من الناس. فإذا كان اتجاه الكرة نحو اشخاص محددين دون آخـــرين معهم، فسيكون هناك تجاهل لاشخاص في جهة، أكثر من غيـــرهم فـــي الجهة الأخرى. هذا اللاتوازن كافٍ لجعل الكرة تتحرك بـــشكل غـــريب وغيـــر معتاد عليه. وبنفس الطريقة، فالحركة الغريبة لحبوب اللقاح تتجاهل جزيئات الماء المقذوفة من جانب أكثر من الجانب الآخر.

استنبط اينشتاين نظرية رياضية لوصف الحركة البراونية، والتي تـــتوقع بـــبعد وســـرعة حـــبة اللقاح في انتقالها نسبة للانحدار القاسي لجـــزيئات المـــاء حول الحبات. فكل شيء متوقف على حجم جزيئات المـــاء، ونظراً لحجم تلك الجزيئات الكبير يؤدي ذلك إلى اختلال توازن القوى على حبة اللقاح ونتيجته على الحركة البراونية.

اما الفيزيائي الفرنسي جان بابتست بيرن فقد قارن ملاحظاته حول جـــزيئات المـــاء المعلقـــة، وهـــي المادة الصمغية المأخوذة من شجرة كمبودية، وتوقعات نظرية اينشتاين. واستدل على ان حجم جزيئات الماء

وحجــم الذرات المكونة لتلك الذرات، هو ما يعادل حوالى عُشر مليار من المتر، ولصغرها الشديد توضع 10 ملايين ذرة على امتداد المسافة.

ولــصغر حجــم الذرات، عند وضع مليارات فوق المليارات من الــذرات فــي مكان واحد منتشرة في الغلاف الجوي المحيط بالأرض، فكــل نَفَس من الغلاف الجوي ينتهي باحتوائه على العديد من الذرات. وبطريقة أخرى، كل نَفَس تستنشقه يحتوي على الأقل على ذرة استنشقها البــرت اينــشتاين أو يولــيوس قيــصر أو مارلــين مونــرو أو حتى تيرانوسورس ريكس خلال مشيهم على الأرض.

ومــاذا بعــد، فالذرات في *المحيط الحيوي* الأرضي تدور بثبات. وبمــوت الكائن الحي فإنه يتحلل، وذرات جسمه تعود للتربة والغلاف الجوي لتندمج مع النباتات التي يأكلها الإنسان والحيوان. وكتب الروائي النرويجي جوستن غاردر في **عالم صوفي:** "إن ذرة كربون في عضلة قلبي كانت في ذيل أحد الديناصورات".

والحــركة البراونية كانت أكثر الادلة قوة على وجود الذرات. فما مــن أحــد حدّق في المجهر ليرى الرقص الجنوني لحبات اللقاح تحت الــضرب القاســي وشكّ ان العالم جوهرياً مكون من جسيمات صغيرة تشبه الرصاصات. ولكن مشاهدة حبات اللقاح الشديدة الحركة، والشبيهة بالــذرات، ليست هي نفسها مشاهدة الذرات فعلياً. ولذلك كان لا بدّ من الانــتظار حتى عام 1980 حيث اكتشف جهاز يسمى الجهاز المجهري نفقي الفحص STM.

ان فكــرة الجهــاز STM أصبحت معروفة وبسيطة جداً. فالرجل الاعمى يستطيع أن يرى وجه أي شخص آخر بعد تحريك اصبعه على وجــه ذلــك الشخص ليرسم صورة عنه في عقله. وجهاز STM يعمل بــنفس الطــريقة. الفرق هو ان ذلك الاصبع هو اصبع معدني، أي أنه عــبارة عــن إبرة معدنية تذكرنا بإبرة الحاكي أو الفونوغراف القديم.

وبسحب تلك الإبرة على سطح الاسطوانة وتغذيتها بحركة علوية – سفلية من خلال جهاز الحاسوب، فمن الممكن رسم صورة مفصلة عن الموجة في الحقل الذري[2].

وبالتأكيد هناك ما هو أكثر بقليل. فعلاوة على ان مبدأ الاختراع بسيط، الا ان هناك صعوبات هائلة لاخراج الاختراعات إلى حيز الوجود. وحتى هذه اللحظة، فالإبرة التي اخترعت تكفي لتحسس الذرات. وأدركت لجنة جائزة نوبل للفيزياء هذه الصعوبات عندما منحت جيرد بينغ وهاينرش روهرر الباحثين في شركة IBM والمخترعين لجهاز STM جائزة نوبل للفيزياء عام 1986.

وكان بينغ وهاينرش من الأوائل الذين شاهدوا الذرة. فصور STM هي الأكثر تحسساً في تاريخ العلوم على امتداد بزوغ الأرض فوق ليل اسود للقمر أو المسح الحلزوني لـ DNA. والذرات الشبيهة بذرات صغيرة، تبدو كالبرتقال، فهي مرتبة في صندوق الصف تلو الآخر. ولكنها تشبه أكثر حبات صلبة صغيرة، ما جعل ديموقريطيس يراها بعين عقله قبل 2400 سنة. ولا شيء آخر ممكن توقعه مثل التقدم في التأكيدات التجريبية.

ولكن، ليس هناك سوى جانب واحد من الذرة يمكن إظهاره بجهاز STM. وكما أدرك ديموقريطيس بنفسه، إن الذرات أكثر من مفهوم حبات صغيرة وبسيطة في حركة متواصلة.

---

(2) من المؤكد ان الإبرة لا تتحسس سطح الاسطوانة مثل اصبع الإنسان. فإذا كانت الإبرة مشحونة كهربائياً ووضعت بالقرب من سطح الاسطوانة الموصلة للكهرباء، فإن تياراً كهربائياً يجري بين رأس الإبرة وسطح الاسطوانة، ويعرف بتيار النفق، وهو يتمتع بصفة من الممكن استغلالها: حجم التيار حساس جداً لعرض الفجوة. فعند تحريك الإبرة، بحيث يصبح ظلها أقرب إلى سطح الاسطوانة، يتنامى التيار بسرعة؛ إذا لم يكن هناك احتكاك، وهبوط عمودي للتيار. وهو ما يعطي للإبرة حساسية لمس اصطناعية.

أحجار لعبة الليغو في الطبيعة

الذرات هي أحجار الليغو الخاصة بالطبيعة، وتبدو بأشكال وأحجام مختلفة، وبتركيب هذه الأحجار مع بعضها بطرق مختلفة، تتكون ذرة، أو قطعة من الذهب، أو حتى كائن بشري. فكل شيء نتيجة هذه التركيبات.

قال الامريكي ريتشارد فينمان الحائز على جائزة نوبل للفيزياء: "إذا حصلت كارثة ما ودُمّرت فيها كل المعارف العلمية، وانتقلت فقط عبارة واحدة بسلام إلى الأجيال المتعاقبة، فأي عبارة من الممكن أن تنقل أغلب المعلومات بأقل كلمات؟" وكان يقين: " كل شيء مكون من ذرات". ولبرهنة ان الذرات هي أحجار لعبة الليغو الخاصة بالطبيعة كان التعريف بأنواع مختلفة من الذرات. وهكذا فإن حقيقة أن الذرات صغيرة جداً بحيث لا يمكن ادراكها بالحواس جعلت وظيفة كل شيء ضئيل مهمّة في سبيل برهنة أن الذرات هي حبات صغيرة في حركة مستمرة. والطريقة الوحيدة لتعريف انواع مختلفة من الذرات كانت بإيجاد مادة مكونة من نوع واحد من الذرات تحديداً.

ففي عام 1789 جمع الارستقراطي الفرنسي انتوان لافوازيه قائمة من المواد، التي اعتقد انه لا يمكن تجزئتها إلى مواد اصغر. حيث احتوت القائمة آنذاك 32 عنصراً. وبالرغم من ان بعضها ليس عناصر جوهرية، فقد احتوت على الذهب والفضة والحديد والزئبق. وبعد 40 سنة من موت لافوازيه في غويتين عام 1794، توسّعت قائمة العناصر لتحتوي على 50 عنصراً. واليوم أصبح لدينا 92 عنصراً طبيعياً، ابتداءً من الهيدروجين الاخف إلى اليورانيوم الاثقل.

لكن ما الذي جعل ذرة ما تختلف عن الأخرى؟ فعلى سبيل المثال كيف تختلف ذرة الهيدروجين عن ذرة اليورانيوم؟ يمكن الحصول على

الجــواب عــند معاينة التركيب الداخلي للذرات. ولكن الذرات صغيرة جداً، مما يجعل من الصعب على المرء إيجاد طريقة ليطّلع بها على ما فــي داخل الذرة. ولكن النيوزلندي ارنست رذرفورد قام بما عجز عنه الآخرون، ففكرته الابداعية كانت باستعمال ذرات لرؤية ما بداخل ذرات أخرى.

حشرة العثة في الكاتدرائية

ان الفكرة التي كشفت عن تركيب الذرات هي النشاط الاشعاعي، وقــد اكتشفها الكيميائي الفرنسي هنري بيكاريل عام 1896. وبين عام 1901 و1903 وجــد رذرفــورد والكيميائي الانكليزي فردريك سودي دليلاً اقوى على ان الذرة المشعة هي ذرة ثقيلة بطاقة عالية. وحتماً بعد مــرور ثانية أو سنة أو ملايين السنين، فالطاقة الفائضة ستنفصل بلفظ جــسيمات بــسرعة عالــية. يسميها الفيزيائيون تجزّؤاً أو انحلالاً إلى عناصر أخف قليلاً.

إحــدى تلــك الجــسيمات هـــي جسيمات الفا، عرّفها رذرفورد والفيزيائي الالماني الشاب كايكر بانها ذرة الهيليوم، ثاني أخف العناصر بعد الهيدروجين.

وفــي عــام 1903 قــام رذرفــورد بقياس سرعة جسيمات الفا المتحــررة مــن ذرات الراديوم المشع. فكانت الدهشة ان سرعتها هي 25,000 كــم/ثانــية، أي أن ســرعتها تعادل مائة الف ضعف سرعة الطائــرة النفاثة. عندئذٍ فهم رذرفورد ان هذه الجسيمات من الممكن ان تتحطم داخل الذرة فتظهر مدى العمق داخل الذرة.

الفكــرة بسيطة، وهي ان نطلق جسيمة الفا على ذرة ما. فإذا كان هــناك شــيء صلب تصطدم به أثناء مرورها إلى داخل الذرة، فعندئذٍ

تتحـــرف عن مسارها الاصلي. وباطلاق الآلاف والآلاف من جسيمات الفا على ذرة ما ومراقبة كيف يمكن أن تنحرف عن مسارها، يكون من الممكن بناء صورة داخلية عن الذرة.

ففي تجربة رذرفورد التي انجزها كايكر والفيزيائي النيوزلندي الــشاب أرنست مارسدن عام 1909، تجربة *استطارة الفا*، استخدما عيـــنة صغيرة من مادة الراديوم لتواجه جسيمات الفا ما يشبه إطلاقاً مجهرياً للنار. فلقد وضعا مادة الراديوم خلف لوح من الرصاص ذي فـــتحة ضيقة، فظهر شعاع رفيع من جسيمات الفا من الجهة الأخرى للـــوح الرصـــاص. فكان أصغر مسدس في العالم للجسيمات الدقيقة السريعة.

وضع كايكر ومارسدن رقاقة معدنية مصنوعة من الذهب بسماكة بضعة آلاف من الذرات في خط النار. وكانا متوهمين ان كل جسيمات الفـــا الـــصادرة من المسدس ستمر عبر هذه الفتحة. ولكن أصبحا على يقـــين بـــأن بعض هذه الجسيمات - أثناء مرورها - ستمر بالقرب من ذرات الذهب لتنحرف بعدها عن مسارها الطبيعي.

وخـــلال زمـــن تجربة كايكر ومارسدن، تم التعرف على جسيمة داخـــل الذرة، انه الإلكترون الذي اكتشفه الفيزيائي البريطاني جي جي تومـــسون ســـنة 1895. والإلكتـــرونات هـــي جسيمات صغيرة ولكن مـــضحكة، أصغر بحوالى 2000 مرة من ذرة الهيدروجين، وهي على ما يبدو جسيمات محيرة في علم الكهرباء، ومنشقة عن الذرات، تتموج علـــى طـــول سلك من النحاس وسط مليارات من الإلكترونات، مكونة تياراً كهربائياً.

الإلكتـــرون هو أول جسيم دون الذري، وهو يحمل إشارة سالبة. ولا أحد يعرف بالضبط ما هي الشحنة الكهربائية، ولا نعرف سوى أنها تأتي بشكلين: سالبة وموجبة. والمادة الاعتيادية المؤلفة من ذرات، ليس

لها شحنة كهربائية. وفي الذرات الاعتيادية، الشحنة السالبة تتوازن مع الشحنة الموجبة على نحو افضل. وهذه هي سمات الشحنة الكهربائية، فالشحنات المختلفة تتجاذب أما المتماثلة فتتنافر فيما بينها. وبالنتيجة، هناك قوة تجاذب بين إلكترونات الذرات المشحونة سلبياً وتلك الجسيمات المشحونة إيجابياً. هذا هو التجاذب الذي يجمع الشيء بأكمله مع بعضه البعض.

وبعد فترة ليست ببعيدة عن اكتشاف الإلكترون، استعمل تومسون هذه النظريات لاختراع الصورة العلمية الأولى للذرة. حيث رآها كما لو أنها مجموعة من الإلكترونات الصغيرة المثبتة على كرة مليئة بالشحنات الموجبة "ما يشبه الزبيب في قالب حلوى". فكان هذا نموذج حلوى تومسون للذرات، والذي جعل كايكر ومارسدن يظنان انه تأكيد لتجربتهما حول استطارة جسيمات الفا.

لقد كانا محبطين.

اما الشيء الذي اطفأ نموذج الحلوى لتومسون فقد كان نادراً ولكنه ملاحظ. فواحدة من كل 8000 جسيمة الفا تطلق على رقاقة الذهب ترتد عنها.

وطبقاً لنموذج الحلوى لتومسون، فالذرة مؤلفة من وفرة من الإلكترونات الثاقبة كالدبوس والمغروسة - المثبتة - في عالم من الشحنات الموجبة. اما جسيمة الفا التي اطلقها كايكر ومارسدن على رقائق مرتبة، فهي من جهة أخرى تمثل قطاراً سريعاً شبه ذري لا يمكن إيقافه، وهو أثقل بحوالى 8000 إلكترون. واحتمال أن تنحرف هذه الجسيمة السريعة على نحو جارف عن مسارها أكبر من احتمال انحراف القطار السريع عن سكة القطار بشكل طائش. يقول رذرفورد: "انه من غير المتوقع ان تقذف بمحارة تبلغ سماكتها 38 سم على انسجة ورقية ثم ترتد لتضربك!"

استنتج كايكر ومارسدن بكل فخر ان الذرة ليست بالشيء الرقيق على الإطلاق. فهناك أشياء مدفونة بداخلها من الممكن أن توقف القطار السريع شبه الذري عن مساره، وتجعله يكفّ عن الدوران ثم من الممكن ادارته من جديد. وهناك كتلة صلبة ناعمة ذات شحنة موجبة في المركز ترد الشحنات الموجبة عن جسيمة ألفا الداخلة. بيد ان هذه الكتلة الصلبة قادرة على أن تقاوم جسيمة الفا الضخمة بدون ان تبدو انها ضاربة، ومن المجحف جداً ان نقول انها جسيمة ضخمة. فبالحقيقة إنها تحتوي على معظم كتلة الذرة تقريباً. فهنا اكتشف رذرفورد النواة الذرية.

ان الصورة الداخلية للذرة يمكن تخيلها، ولقد بدت مخالفة لنموذج الحلوى الذي تحدث عنه تومسون. والصورة عبارة عن نظام شمسي صغير، فالإلكترونات السالبة الشحنة تجذبها النواة الموجبة الشحنة، فتدور حولها كدوران الكواكب حول الشمس. وتبدو النواة على الأقل أضخم من جسيمة الفا، ولكن ليس لصد الإلكترونات وطردها خارج الذرة. علماً ان النواة تحتوي على 99.9% من كتلة الذرة [3].

والنواة تبدو صغيرة جدا جدا. فإذا وضعت الطبيعة عدداً كبيراً من الشحنات الموجبة في حجم صغير جدا، تمارس النواة عندئذٍ قوة تنافرية بحيث تجعل جسيمة الفا تتخذ شكل U. لكنّ الأكثر لفتاً للنظر في ما يتعلق برؤية رذرفورد للذرة هو فراغها المخيف. فالكاتب المسرحي توم

---

(3) لقد اكتشف الفيزيائيون ان النواة تحتوي على نوعين من الجسيمات، إحداهما جسيمة مشحونة تسمى البروتون والأخرى متعادلة أو غير مشحونة تسمى النيوترون. وعدد البروتونات داخل النواة مساوٍ لعدد الإلكترونات التي تدور خارج النواة. والفرق بين الذرات هو بعدد البروتونات داخل النوى (وبالنتيجة عدد الإلكترونات في مدارات الذرة). فعلى سبيل المثال، يحتوي الهيدروجين بروتوناً داخل النواة، بينما يحتوي اليورانيوم 92 بروتوناً.

ستوبارد وضعها بشكل جميل في مسرحيته *الحظ الجيد*: "الآن اقبض كف يدك، فإذا كان كف يدك أكبر من نواة الذرة، فإن الذرة أكبر من القديس بول، وإذا حدث هذا ليكوّن ذرة الهيدروجين، عندئذٍ هناك إلكترون واحد ينتقل من مكان لآخر أشبه بحشرة العثة في الكاتدرائية الفارغة، تحت القبة أو عند المذبح".

وبالرغم من ان النواة تبدو صلبة، فالمألوف انها لم تكن شبحاً. والمادة مهما كان شكلها، سواء أكانت كرسياً أو إنساناً أو نجماً فأغلبها فضاء فارغ.

فجوهر الذرة يكمن في نواتها الصغيرة؛ إذ إنها (النواة) أصغر بمئة ألف مرة من الذرة الكاملة.

وعلى نحو آخر، إن المادة منتشرة بشكل مفرط. فإذا كان بالإمكان طرد الفراغ الزائد خارجاً، فالمادة ستأخذ حيز الغرفة. وفي الحقيقة هذا ممكن تماماً. وعلى الرغم من ان امكانية وضع البشرية في حجم مكعب من السكر غير موجودة، فهناك طريقة موجودة لوضع مادة بحجم ضخم في مكان صغير. تلك هي الجاذبية الضخمة القوية، والنتيجة هي نجم البروتون. وهي كوضع كتلة هائلة بحجم الشمس في مكان ليس أكبر من جبل افرست[4].

الذرة المستحيلة

كانت رؤية رذرفورد للذرة – بانها شبيهة بالنظام الشمسي حيث تدور الإلكترونات الصغيرة حول نواة سميكة، كما تدور الكواكب حول الشمس – نصراً للعالم التجريبي. وللأسف لم تكن متوافقة مع كل ما عرف في الفيزياء!

---

(4) انظر الفصل الرابع "اللادقة وحدود المعرفة".

وطــبقاً للنظــرية الكهرومغناطيــسية لماكــسويل – التي تصف النظــريات الكهــربائية والمغناطيسية – حين يتسارع الجسم المشحون، تتغير سرعته واتجاهه، ويعطي أمواجاً كهرومغناطيسية تسمى الضوء. والالكترون هو جسم مشحون يدور حول النواة وكثيراً ما يغيّر اتجاهه، لذا فإنه يعمل كمنارة اضاءة صغيرة، ويبث باستمرار أمواجاً ضوئية في الفــراغ. والمــشكلة انهــا تبدو ككارثة بالنسبة لأي ذرة. فالطاقة تشع كــضوء يأتــي مــن مكــان ما، ويمكن أن يكون من الإلكترون ذاته. واســتنزاف طاقــة الإلكترون يمكن أن يجعله أقرب إلى مركز الذرة. واثبــتت الحسابات انه يمكن للإلكترون أن يصطدم بالنواة خلال أجزاء من ملايين جزء من الثانية. وعندها لن يكون للذرات وجود.

ولكــن الــذرات موجودة. فالعالم من حولنا يبرهن بما فيه الكفاية علــى ذلــك. وبعــيداً جداً عن انتهاء جزء من مئات الملايين جزء من الثانــية، فالــذرات تقاوم للعيش بسلام منذ ما يقارب 14 مليار سنة من عمــر الكــون. وهذه هي بعض المحتويات الحساسة المفقودة في رؤية رذرفورد للذرة.

هــذه المحــتويات هي نوع ثوري جديد في الفيزياء يسمى نظرية الكم.



2

عظمة الرب في تدبير الكون

كيف اكتشفنا ان الافعال في عالم الذرات تحدث بدون سبب على الإطلاق

قال فيلسوف ذات مرة: "انه من الضروري لوجود العلم ان نفس الشروط تنتج دائماً نفس النتائج". حسناً، هذا لا يحدث!

ريتشارد فينمان

علـــى ارتفـــاع 2025 م في قمة جبل عملاق مهجور، هناك آثار جهاز تلسكوبي بقطر 100 م لمراقبة سماء الليل. يراقب مجرة بدائية عند حافة الكون المراقب، والضوء الضعيف – الذي ينتقل عبر الفضاء منذ امد بعيد حتى قبل ولادة الأرض – يُلتقط بمرآة جهاز التلسكوب المزوّد بكـــشافات إلكترونية عالية التحسس. داخل قبة التلسكوب – حيث توجد لـــوحة التحكم المشابهة للكونسول في مؤسسة النجوم – يشاهد الفلكيون صـــورة غامـــضة لمجرة تسبح على شاشة الكمبيوتر. أدار شخص ما مكبـــر الـــصوت عالياً، ما جعل التصدعات العازلة للصوت تملأ غرفة الـــتحكم. بدا الصوت كصوت اطلاق النار من مسدس أو كقرع زخات المطـــر على سقف من القصدير. بالحقيقة انها جسيمات صغيرة تتساقط على كاشفات التلسكوب من مسافات عميقة جداً في الفضـاء.

بالنسبة لهؤلاء الفلكيين الذين بذلوا قصارى جهدهم لرؤية مصادر ضعيفة للضوء في الكون، إنها في الحقيقة دليل ذاتي بأن الضوء هو سيل من جسيمات تشبه الرصاصة تسمى الفوتونات. ومنذ زمن ليس ببعيد، تلقت الجالية العلمية ضربة خفيفة وصرخت لتقبل هذه الفكرة. وبالحقيقة فمن العدالة القول ان اكتشاف أن الضوء هو عبارة عن سيل متقطع أو كمّات كان الاكتشاف الأكثر إذهالاً في تاريخ العلوم. فلقد رفع الغطاء الامني للعلوم في مطلع القرن العشرين وعرّض الفيزيائيين للحقيقة المؤلمة لعالم *أليس في بلاد العجائب* حيث تحدث الأشياء لأنها تحدث، مع اعتبار مطلق لقوانين الحضارة في الأسباب والتأثير.

وأول من اكتشف ان الضوء مؤلف من فوتونات كان اينشتاين. فبمجرّد تصور سيل من الأجسام الصغيرة استطاع تحسس الظاهرة المعروفة بالتأثير الكهروضوئي. إذ إنك حين تمشي في سوق تجاري وتُفتح لك الأبواب آلياً، فهذا لأنها مسيطر عليها بالتأثير الكهروضوئي. فعندما تتعرض المعادن للضوء فإنها تقذف جسيمات عبارة عن إلكترونات كهربائية. وبمشاركتها في خلية ضوئية، مثل أي معدن فإنها تولد تياراً كهربائياً صغيراً أطول من شعاع الضوء الساقط على الخلية الضوئية. وإذا اراد صاحب المحل التجاري تعطيل التيار، فابواب المحل تعطي إشارة التوقف جانباً.

ومن السمات الفريدة للظاهرة الكهروضوئية، أنه وباستعمال ضوء ضعيف جداً، فالإلكترونات ستقتلع من المعدن على الفور وبدون تأخير يذكر[1]. وهذا يتعذر تفسيره إذا اتصف الضوء بانه موجة. والسبب ان

---

(1) السمة الأخرى المميزة للظاهرة الكروضوئية انه لا يوجد إلكترون على الإطلاق ينبعث من المعدن إذا أضيء المعدن بضوء طوله الموجي (مقياس المسافة بين موجتين متعاقبتين) فوق مرحلة العتبة. لقد فهم اينشتاين ان فوتونات الضوء لها طاقة تنقص بازدياد طوله الموجي. وتحت حد معلوم للطول الموجي فالفوتونات لها طاقة غير كافية لتحرير الإلكترون من المعدن.

الموجة التي تنتشر في المحيط، ستتفاعل مع عدد كبير من الإلكترونات فـــي المعـــدن. وبعض هذه الإلكترونات ستتحرر حتمياً من المعدن قبل الإلكترونات الأخرى.

ان بعـــض الإلكترونات ممكن تحريرها بعد 10 دقائق أو بعد أن يـــسطع الـــضوء علـــى المعدن. إذاً، كيف يكون ممكناً ان الإلكترونات تتحـــرر مـــن المعـــدن آنياً؟ هناك طريقة وحيدة وهي ان كل إلكترون يتحرر من المعدن يحتاج لفوتون واحد من الضوء.

والدلـــيل الأقـــوى علـــى ان الضوء يتألف من جسيمات شبيهة بالرصاصـــات يأتـــي من تأثير كومبتون. ومفاده ان الإلكترونات إذا تعرضـــت للاشـــعة السينية (نوع من الضوء عالي جداً) فإنها ترتد بنفس الطريقة التي ترتدّ بها كرات البليارد عند اصطدامها مع كرات أخرى.

وظاهـــرياً، إن اكتـــشاف أن الضوء عبارة عن سيل من جسيمات صغيرة ربما لا يكون مفاجئاً أو قابلاً للملاحظة. والسبب ان هناك دليلاً قـــوياً ومؤكداً بأن الضوء يختلف بعض الشيء عن سيل من الجسيمات ويمكن تصوره انه موجة.

التموج في بحر الفضاء

مـــع مطلـــع القرن التاسع عشر، أخذ الفيزيائي الانكليزي توماس يونـــغ والمشهور بحلّ شيفرة حجر رشيد[2] بشكل مستقل عن الفرنسي جـــان فرانـــسوا شـــامبويون لوحاً معتماً فيه شقان عموديان قريبان من بعضهما البعض ثم أضاء ضوءاً أحادي اللون. فإذا سلك الضوء سلوكاً

(2) هـــو حجـــر اكتـــشف عـــام 1799 في رشيد بمصر يحمل نقوشاً متوازية باليونانية والهيروغليفية مما ساعد على حل رموز هذه الاخيرة.

موجـياً، فإن كل شق سيعنبر مصدراً جديداً للأمواج، منتشراً بعيداً عن اللوح بما يشبه التموجات المركزية في بركة.

والـصفة المميزة لهذه الموجات هي التداخل. فموجتان متشابهتان تمـران بالقرب من بعضهما، تقوّي إحداهما الأخرى عندما تكون سعة المـوجة أو قمـتها مـتطابقة مع سعة الموجة الأخرى، وتلغي احداهما الأخـرى إذا تطابـق مرتفع الموجة مع منخفض الأخرى. راقب بركة المـاء خلال سقوط المطر وسوف ترى التموجات من كل قطرة تنتشر في البركة وكذلك التداخل *البناء والهدام* لكل واحد من التموجات.

ففـي مـسار الضوء يبرز شقا يونغ، والذي يتوسط شاشة بيضاء ثابـتة. ونلاحـظ علـى الفـور سلسلة من الخطوط العمودية المتناوبة المـضيئة والمظلمـة والشبيهة بالخطوط على لوحة الاسواق التجارية. نمـوذج التداخل يثبت بما لا يقبل الجدال ان الضوء هو موجة. وبما ان الضوء يتموج بين الشقين، فإما أن تقوّي إحدى الموجات بقية الموجات فيزداد الضوء إضاءة، أو تضعف احداها الأخرى فيخف الضوء.

وفـي تجـربة *الـشق المزدوج*، استطاع يونغ تحديد طول موجة الضوء. واكتشف انها جزء من الالف من المليمتر - وهي أصغر بكثير مـن سـماكة شعرة الإنسان - مما يفسّر لماذا لم يفكر أحد من قبل بأن الضوء هو موجة.

وبعـد قـرنين لاحقين، فإن صورة يونغ للضوء والتي هي عبارة عـن تمـوجات فـي بحـر الفضاء تسود بقوة في تفسير كل الظواهر المعـروفة بمـا فـيها الـضوء. لكن مع نهاية القرن التاسع عشر، بدأ الاضطراب، بالإضافة إلى أن القليلين لاحظوا في البدء صورة الضوء علـى شـكل موجة، وصورة الذرة على شكل حبة صغيرة من المادة، فكـان التـناقض. والصعوبة تكمن في السطح البيني، أي المكان حيث يلتقي الضوء بالمادة.

وجهان لعملة واحدة

الــتفاعل بين الضوء والمادة هام لكل العالم. فإذا لم تعطِنا الذرات فــي ســلك المصباح ضوءاً لا نستطيع اضاءة منازلنا. وإذا لم تستطع الــذرات فــي شبكية عينيك امتصاص الضوء، فليس ممكناً قراءة هذه الكلمات. فالمشكلة تكمن في أن امتصاص وانبعاث الضوء بواسطة هذه الذرات يعتبران مستحيلين لفهم صفة الضوء الموجية.

ان الــذرة هي شيء كثيف، وهي محاطة بطبقة خفيفة من الفراغ، بينما تنتشر موجة الضوء في الفراغ وتملأ قدر الإمكان أكبر كمية منه. فبامتصاص الضوء من قبل الذرة كيف يمكن لشيء ان يُضغط في حجم صغير؟ ومتى تبعث الذرة الضوء؟ وكيف للشيء الصغير ان يلفظ شيئاً كبيراً؟

الحس المشترك يقول ان الطريق الوحيد للضوء ليمتص أو يبعث شــيئاً صغيراً هو إذا كان أيضاً شيئاً صغيراً. والقول السائد: "لا شيء يطابق داخل الافعى غير افعى أخرى".

فالضوء عبارة عن موجة. والطريقة المثلى لحل المشكلة المحيرة للفيــزيائيين هي بأن ينفضوا ايديهم من التذمر واليأس ويقبلوا فكرة ان الــضوء موجة وجسيمة. وبالتأكيد ان البعض لا يستطيع أن يتقبلها آنياً وينشر الفكرة! وهذا صحيح تماماً في عالم اليوم. وعلى كل حال فنحن لا نتكلم عن عالم اليوم بل عن العالم المجهري الدقيق.

والعالم المجهري من الذرات والفوتونات يبدو وكأنه لا يشبه عالماً من الأشجار والغيوم والناس. وهكذا فالسائد انه أصغر من عالم الأشياء المألوفة ملايين المرات، فلماذا يجب أن يكون هكذا؟ فلا وجود لكلمة مناسبة في لغتنا اليوم يمكن مقارنتها في عالمنا. كالعملة ذات الوجهين، وما نراه هو صــفة الجسيمة في وجه والموجة في وجه آخر. إذاً، ما هي حقيقة الضوء؟

انه غير قابل للتعريف مثل تعريف الضوء الازرق للرجل الاعمى.

يـسلك الـضوء سلوكاً موجياً تارة، وسلوكاً مادياً يشبه سيلاً من الجـسيمات تارة أخرى. وكان هذا صعب القبول إلى ابعد حد لفيزيائيي القرن العشرين. ولكن ليس لديهم خيار، فهو ما اخبرتهم به الطبيعة. قال الفيزيائي الانكليزي وليم براغ عام 1921 مازحاً: "نحن ندرّس النظرية الموجية ايام الاثنين والاربعاء والجمعة، وندرس النظرية الجسيمية ايام الثلاثاء والخميس والسبت".

كـان استشراف براغ رائعاً. وللأسف لم يكن كافياً لحفظ الفيزياء مـن الكارثـة. فكما أدرك اينشتاين في البداية، إن الطبيعة الموجية – الجسيمية المشتركة للضوء كانت كارثة. فهي لا تستحيل رؤيتها فقط بل إنها غير متطابقة مع كل الفيزياء التي مرت من قبل.

التلويح باليد لتوديع الدقة

اقترب من شباك. إذا نظرت إليه عن قرب يمكنك أن ترى انعكاساً باهـتاً لوجهك. والسبب ان الزجاج ليس شفافاً تماماً. انه يسمح بمرور 95% مـن الضوء الساقط عليه بينما يعكس ما تبقى؛ أي 5% منه. فإذا اعتبر الضوء موجة، فهذا أسهل تماماً للفهم.

وببـساطة أشـد تنقـسم الموجة إلى موجة كبيرة تنفذ من النافذة، وأخـرى أكثـر صغراً ترتد للخلف. والآن فكِّر قليلاً في تقوس الموجة الـناتجة عـن قارب ماء سريع. فإن صادف ان مجداف القارب نصفه مغمـور فـي الماء، فالجزء الأكبر من الموجة سيواصل طريقه، بينما يرتد جزء صغير عن نفسه.

وهـذا الـشيء سـهل الفهم إذا عبّرنا عن الضوء بالموجة. ومن الصعوبة بمكان ان نفهم ان الضوء سيل من الجسيمات المتماثلة الشبيهة

بالرصاص. وبعد كل هذا، فإذا كانت الفوتونات متماثلة، فهذا يبرر كيف أن كل فوتون ينفذ من النافذة أو يرتد عنها بطريقة متماثلة. وكذلك فكر باللاعب الانكليزي ديفيد بيكهام عندما يضرب الكرة مرة ومرات أخرى. فإذا كانت كرات القدم متماثلة، واستطاع بيكهام ان يضرب كل واحدة منها بنفس الطريقة، فكل الكرات ستدور في الهواء وتضرب بنفس البقعة في مؤخرة الهدف. ومن الصعب التصور بأن أغلب الكرات ستمطر الهدف بنفس المكان بينما القليل منها يذهب بعيداً عند علم الزاوية.

كيف؟ ومتى؟ وهل من الممكن ان سيلاً من الفوتونات المتماثلة بالضبط يرتطم بالنافذة فتنفذ منها 95% عبر النافذة بينما ترتد 5% نحو الخلف؟ اينشتاين يقول إن هناك طريقة واحدة: إذا كان لكلمة *متماثلة* معانٍ مختلفة في عالم المجهريات في عالمنا اليوم ليزيل ويقطع المعنى.

ففي عالم المجهريات، يدور بالبال ان الأشياء المتماثلة لا تسلك نفس الطريق في ظروف متماثلة. وبدلاً من ذلك، فلها فرصة متماثلة للسلوك في طريقة خاصة. فكل فوتون يصل إلى النافذة لديه فرصة بأن ينفذ كأي فوتون بنسبة 95% ونفس الفرصة ليرتد بنسبة 5%. وليست هناك طريقة لتعرف بالضبط ما الذي يحدث للفوتون. فسواء نفذ أو ارتد عن النافذة فهو خاضع تماماً للفرصة العشوائية.

وفي مطلع القرن العشرين، كانت قابلية اللاتوقع شيئاً شاذاً وجديداً في العالم. تصور عجلة لعبة الروليت وارتجاج الكرة عند دوران العجلة. فالتفكير ينصبّ على عدد الكرات المستقرة عند ايقاف العجلة بحركة غير متوقعة، وغير متناسقة. ولكنها ليست ابداً كذلك. وإذا كان من الممكن معرفة المسار المنحني الاولي للكرة، والسرعة الابتدائية للعجلة، ومسار تيارات الهواء التي تتغير من حين لآخر في الملهى،

وغيـرها، عـندئذٍ تستطيع قوانين الفيزياء التوقع 100% أين ستستقر الكرة في النهاية. ويحصل نفس الشيء مع قذف العملات المعدنية. فإذا كان ممكناً معرفة السرعة المطبقة لقلب العملة المعدنية، وشكل العملة، وغيرها، فإن قوانين الفيزياء بالتأكيد ستتوقع بنسبة 100% ما إذا كانت العملة ستستقر على الوجه الأول أم الثاني.

فــلا شيء غير قابل للتوقع في عالمنا، ولا شيء عشوائي تماماً. والــسبب فــي انــه لا يمكن توقع نتيجة لعبة الروليت أو قذف القطعة المعدنية، هو أنه ببساطة لا بد من الأخذ بالحسبان معلومات كثيرة جداً للقيام بذلك. لكن مبدئياً - وهذا مفتاح الحل - لا شيء هناك يمنعنا من التوقع بكلا الشيئين.

وهذا تناقض مع العالم المجهري للفوتونات. فلا يهمّ تجاهل مقدار المعلــومات التي نملكها. فمن المستحيل توقع ما إذا كان الفوتون سينفذ من النافذة أم سيرتد عنها من ناحية المبدأ. فإن كرة الروليت تدور لسبب مـــا، وهو تفاعل عدد من القوى الدقيقة. اما الفوتون فيتحرك دون سبب اطلاقاً. وان قابلية عدم التوقع في العالم المجهري أساسية، وهذا صحيح بعض الشيء أمام العيان.

وما هو صحيح بالنسبة للفوتون يصحّ أيضاً بالنسبة لكلّ سكان العـــالم المجهري. فالقنبلة تنفجر لأن ساعة التوقيت تخبرنا بذلك، أو لأن الـــتذبذبات أحدثت اضطراباً، أو لأن عبوتها الكيميائية أصبحت فجـــأة بغير حالتها الاعتيادية. والذرة غير المستقرة أو *المشعة* تنفجر بكــل بــساطة. وهــناك فرق غير قابل للإدراك بتاتاً بين الذرة التي تنفجــر فـــي لحظـــتها أو تلك التي تنتظر عشرة ملايين سنة قبل ان تتفتت إلى قطع متناثرة.

لقـــد حــصل اينشتاين على جائزة نوبل للفيزياء عام 1921 ليس لنظــريته المــشهورة حـــول النــسبية بــل لــشروحاته حول الظاهرة

الكهروضوئية. وقد كان هناك اتفاق على ذلك من قبل لجنة تحكيم جائزة نـــوبل. اعتبر اينشتاين هو نفسه ان عمله حول *الكمية* هو الشيء الوحيد الـــذي فعلـــه للعلم والذي يعتبر بحق عملاً ثورياً. فكان ان اتفقت لجنة التحكيم لجائزة نوبل معه تماماً.

ولـــدت النظـــرية الكمية ضمن كفاح التوافق بين الضوء والمادة. والتـــي امست بالأساس شاذة عن كل العلوم التي مضت من قبل. فقبل عـــام 1900، كانـــت الفيزياء وصفة للتوقع بالمستقبل مع تأكيد جازم. فعـــندما يكون الكوكب في مكان ما اليوم، ففي يوم لاحق سيتحرك إلى مكان آخر، هذا التوقع محكوم عليه بنسبة 100% من التوافق مع قوانين نـــيوتن للحـــركة وقانـــون الجاذبية. وهذا يتناقض مع حركة الذرة عبر الفضاء. فلا شيء يمكن معرفته يقينياً، وكل الذي نستطيع فعله هو توقع مساره المحتمل وموقعه النهائي المحتمل.

وبيـــنما تـــستند الكمية إلى اللادقة، تستند بقية الفيزياء إلى اليقين. والقول بأن هذه مشكلة بالنسبة للفيزيائيين هو قليل من الاستهانة! لقد قال ريتشارد فينمان: "الفيزياء تعطي حلاً لمشكلة ما، محاولة توقع ما الذي سيحدث في محيط ما". وقال أيضاً: "نحن نستطيع توقع الأمور الشاذة".

على كل حال، ليس كل شيء مفقوداً. فإذا لم يكن بالإمكان التوقع في العالم المجهري، فمن الممكن ان يكون حقلاً مملوءًا بالفوضى. ولكن الأشياء ليـــست بهذا السوء. فبالرغم من ان الدراسات وما شابهها جوهرياً غير قابلة للتوقع، فمن الممكن ان ذلك يؤدي على الأقل إلى أن تكون قابلة للتوقع.

توقع غير قابل للتوقع

بالعـــودة إلى النافذة مرة أخرى، فكل فوتون له نسبة 95% للنفوذ من النافذة و5% للارتداد عنها. ولكن ما الذي يحدّد هذه الاحتمالات؟

حسناً، الصورتان المختلفتان للضوء، الموجية والجسيمية، يجب أن تخرجا بنفس النتيجة. إذا كان نصف الأمواج يمر والنصف الآخر يرتد، فالشيء الوحيد للتوفيق بين الصفتين الموجية والجسيمية هو ان كل جسيم ضوئي مفرد يحتمل أن يمرّ بنسبة 50%، ويحتمل أن يرتد بنسبة 50%. وبطريقة مشابهة، فإن 95% من الأمواج تنفذ و5% ترتد، والاحتمالان المرافقان لذلك النفوذ والارتداد للفوتونات هما 95% و5% على التوالي.

وللحصول على توافق بين كلتا الرؤيتين للضوء، فالجانب الجسيمي للضوء يجب بطريقة ما ان *يُعلم* كيف يسلك بجانبه الموجي. وبتعبير آخر، في المجال المجهري، الأمواج لا تسلك ببساطة سلوك الجسيمات، بينما تسلك هذه الأخيرة ببساطة سلوك الأمواج. وبالحقيقة، إلى حدٍّ ما، هذه العبارة هي كل ما تحتاجه لمعرفة النظرية الكمية (كجزء من تفاصيل قليلة). وكل شيء آخر لا يمكن تجنبه. لا بل إن كل الغرابة والثراء المدهش للعالم المجهري هما نتيجة مباشرة لثنائية الجسيمة - الموجة في أحجار البنية الأساسية للحقيقة.

ولكن كيف يعلم الجانب الموجي للضوء بسلوك الجانب الجسيمي؟ هذا السؤال ليس من السهولة الاجابة عليه.

يبدو الضوء انه سيل من الجسيمات أو موجة. ونحن لا نرى على الإطلاق جانبي العملة المعدنية بنفس الوقت. ولهذا عندما نرى ان الضوء هو سيل من الجسيمات، فليس هناك موجة موجودة لتخبر هذه الجسيمات حول كيفية سلوكها. ولذا، فإن هناك مشكلة لدى الفيزيائيين في شرح حقيقة عمل الفوتونات - على سبيل المثال، طيرانها عبر النوافذ - فيما إذا وُجّهت عبر موجة.

لقد حلوا المشكلة بطريقة غريبة. فبغياب الموجة الحقيقية، تصوروا خلاصة موجة افتراضية (موجة رياضية). فإذا كان الأمر يبدو سخيفاً، فإن هذا أكثر ظرفاً من رد فعل الفيزيائيين عندما افترض

الفيزيائـــي النمـــساوي ايرون شرويدنغر في عام 1929 موجة رياضية تنتشر في الفضاء، وتواجه عقبات، وترتد عن النوافذ أو تنفذ منها، أشبه بمـــوجة ماء منتشرة في بركة. ففي الأماكن حيث تكون الموجة كبيرة، يكـــون احـــتمال ايجاد الجسيمة كبيراً أيضاً، وبالعكس إذا كانت اماكنها صـــغيرة فاحـــتمال ايجاد الجسيمات يكون صغيراً. وبهذه الطريقة، فإن مـــوجة شرويدنغر للاحتمالية لتعريف الدالة الموجية، تخبر الجسيمة ما الذي يجب عمله، وليس فقط الفوتون، بل أي جسيمة أخرى داخل الذرة مثل الإلكترون.

وهناك شيء من الرقة واللطف. فالفيزيائيون يستطيعون ان يجعلوا مـــن رؤية شرويدنغر توافق الحقيقة إذا كان احتمال وجود الجسيمة في نقطة ما مرتبطاً بمربع ارتفاع أو سعة الموجة في تلك النقطة. وبمعنى آخـــر، إذا كـــان احـــتمال وجود الموجة في نقطة ما في الفراغ ضعف ارتفاعها في نقطة أخرى من الفراغ، فإن احتمال وجود الجسيمة هنا هو أربعة أضعاف احتمال وجودها في مكان آخر.

وفي الحقيقة، إن مربع احتمالية الموجة – وليست الموجة نفسها ذات المعنى الفيزيائي الحقيقي – هو الذي سبّبَ مناقشة حول ما إذا كانت الموجة شـــيئاً حقيقياً ومختبئاً تحت جلد العالم أو أنها فقط نصيحة رياضية ملائمة للمعادلات الرياضية. ان أغلب الناس وليس كلهم يفضلون الثانية.

إن احتمالية الموجة هامة وحاسمة لأنها تربط بين الجانب الموجي للمادة والأمواج المألوفة لكل الأنواع؛ من أمواج الماء ومروراً بالأمواج الـــصوتية، وانتهاء بالأمواج الزلزالية. وكل الأمواج تخضع لما يسمى معادلـــة المـــوجة. وهي المعادلة التي تصف كيفية التموج عبر الفضاء سامحة للفيزيائيين بالتوقع بارتفاع أو سعة الموجة في أي مكان وزمان. لقـــد كان ذلك نصراً لشرويدنغر الذي اوجد معادلة الموجة التي تصف السلوك المحتمل لموجة الذرات وشبيهاتها.

وباستخدام معادلة شرويدنغر، فقد امكن تعيين احتمالية وجود الجسيمة في مكان ما بالفضاء وفي أي وقت. وفي لحظتها، استعملت المعادلة لوصف الفوتونات المصطدمة بزجاج النافذة، للتوقع باحتمالية 95% لايجاد فوتون على الجانب البعيد للزجاج. وبالحقيقة، يمكن استعمال معادلة شرويدنغر لتوقع احتمالية أي جسيمة، فوتون أو ذرة، أو أي شيء آخر يعمل عملهما. وهي تجهز الرابط الحاسم للعالم المجهري، فاسحة المجال أمام الفيزيائيين لتوقع كل شيء يحدث هنالك مع يقين يصل إلى 100% أو على الأقل مع اللادقة القابلة للتوقع!

الى أين يقود كل هذا الحديث عن احتمالية الموجات؟ حسناً، ان الأمواج تسلك سلوكاً جسيمياً في العالم المجهري، مما يقود إلى المجازفة بادراك ان العالم المجهري يرقص على نغمات مختلفة عما هو موجود في العالم اليومي. لقد جمعت هذه النغمات بعشوائية غير قابلة للتوقع. لقد كان ذلك بحد ذاته صدمة، وعاصفة زعزعت ثقة الفيزيائيين واعتقادهم بما يمكن توقعه بشكل منتظم. ولكن يبدو هذا الأمر هكذا في البداية فقط. والطبيعة مليئة بالصدمات في جعبتها. فحقيقة ان الأمواج ليست فقط تسلك سلوكاً جسيمياً، بل أيضاً أن هذه الجسيمات تسلك سلوكاً موجياً تقودنا إلى ادراك ان كل الأشياء الموجية المألوفة مثل موجات المياه وموجات الصوت تستطيع العمل جيداً باحتمالية الأمواج لتخبر عن سلوك الذرات والفوتونات وفصائلهما.

ولكن ماذا بعد؟ فالأمواج هي أكثر من مروعة بالنسبة لأشياء مختلفة. وبالتالي فإن لكل من هذه الأشياء نتائج شبه معجزة في العالم المجهري. والأمواج في اتجاه امامي واحد يمكن أن توجد في أماكن متماثلة. والملاحظ، أنه يمكن للذرة ان تكون في مكانين في وقت واحد، وهو ما يكافئ وجودك في لندن ونيويورك في نفس الوقت.

3

الذرة الانفصامية

كيف يمكن للذرة ان تكون في أماكن مختلفة وتؤدي اعمالاً متنوعة بنفس الوقت

تصور الفرق بين العداد واسرع حاسوب محسَّن في العالم، ولم تزل لديك ادنى فكرة حول كم هي قدرة الحاسوب الكمي مقارنة باجهزة الحاسوب الموجودة اليوم.

جوليان براون

انه العام 2041. يلعب صبي بالحاسوب في غرفة نومه. انه ليس جهاز حاسوب عادياً، انه حاسوب كمي. أعطى الصبي للحاسوب واجباً... وفي لحظتها تجزأ إلى آلاف الآلاف من الاصدارات لنفس الواجب، وكل إصدار يعمل على جهة منفصلة من المسألة. وبالنهاية وبعد ثوانٍ معدودة، عادت تلك الاصدارات معاً وومضت بإجابة واحدة على شاشة الحاسوب. انه جواب تحتاج فيه أجهزة الحواسيب العادية في العالم أن توضع كلها مع بعضها لترليون الترليونات من السنين حتى تجد الحل. مقتنعاً، أطفأ الصبي الحاسوب، وذهب للعب بعد أن أنهى فرضه.

وبالتأكيد لا يوجد حاسوب من الممكن أن يؤدي ما قام به حاسوب الصبي من عمل؟ وليس الحاسوب الذي يقوم بعملية النسخ المعتاد عليه

الــيوم. فالــشيء الوحيد للنزاع الحقيقي هو ما ان كان الحاسوب الكمي يشبه في سلوكه اضعافاً مضاعفة للحواسيب الضخمة، أو ما إذا استغلت بالفعــل قــدرة الحاســوب علــى نسخ الحساب بنسخ عديدة في موازاة الحقائق والعوالم.

مفتاح الملكية للحاسوب الكمي - القدرة على عمل حسابات عديدة في آن واحد - يتبع مباشرة شيئين هما الأمواج والجسيمات المجهرية، مــثل الذرات والفوتونات التي تسلك سلوك الموجة، والتي يمكن رؤيتها في أمواج المحيط.

ففي المحيط هناك الأمواج الكبيرة والمويجات الصغيرة. ولكن أي شخص يمكن أن يشاهد حالة البحر في يوم عاصف، يرى أمواجاً كبيرة متلاطمة ومويجات صغيرة متراكبة على بعضها. هذه هي الصفة العامة لكل الأمواج. فإذا كانت هناك موجتان مختلفتان، فيمكن دمج أو تركيب الأمــواج مع بعضها. وحقيقة، ان صفة تراكب الأمواج موجودة وهي جمــيلة وغير مؤذية في كل يوم. وعلى كل حال ففي عالم الذرات وما تحتويه، إن آثارها ليست بالمهولة.

نعــود للتفكير بالفوتون الذي يصطدم بزجاج النافذة. فالفوتون اخبــر ما الذي يجب القيام به باحتمالية الموجة، والموصوفة بمعادلة شــرويدنغر. فالفوتــون امــا ان يــنفذ أو يرتد عن النافذة. ومعادلة شرويدنغر تسمح بوجود الموجتين. واحدة موافقة للفوتون المار عبر الــنافذة والأخــرى موافقة للفوتون المرتد إلى الخلف. ولا توجد هنا مفاجــأة، فــإذا سمح للموجتين بالوجود، فعندئذٍ يسمح للموجتين ان تتراكبا. وليس غريباً ان تتراكب موجتا البحر مثلاً. لكن التراكب هنا يتــبع شــيئاً اســتثنائياً تماماً، والفوتون له صفتان: نافذة أو مرتدة. وبتعبيــر آخر، ممكن للفوتون ان يكون على كلا الجانبين من النافذة بالوقت نفسه!

وهـــذه الـــصفة التي لا يمكن تصديقها لا يمكن تجنبها من خلال حقيقتين: الفوتونات توصف بانها موجات، وتراكب الأمواج بات ممكناً.

هذا ليس خيالاً نظرياً. وتجريبياً، يمكن ملاحظة الفوتون أو الذرة فـــي مكانـــين في آن واحد (وعلى نحو أكثر دقة، يمكن ملاحظة نتائج الفوتـــون أو الـــذرة في مكانين في آن واحد). وهكذا، لا يوجد حد لعد الأمـــواج المتـــراكبة، فالفوتـــون أو الذرة يمكن لهما ان يكونا في ثلاثة أماكن، أو عشرة أماكن، أو حتى مليون مكان في آن واحد.

لكـــن احتمالـــية مشاركة الموجة مع الجسيمة المجهرية أكبر من ابلاغهـــا أين يمكن أن تكون الموجة. إذ تخبر الجسيمة عن سلوكها في كـــل الظـــروف؛ على سبيل المثال، ما إن استطاعت النفاذ عبر زجاج النافذة أو الارتداد عنه أو لم تستطع. فالنتيجة، ان الذرات وما شابهها لا يمكـــن أن تكون في أماكن مختلفة في آن واحد، وان تعمل أشياء عديدة فـــي آن واحـــد. مـــا يكافـــئ تنظيفك للمنزل، وتمشية الكلب، والتسوق الاســـبوعي كلهـــا فـــي وقت واحد. هذا هو السر خلف القدرة الضخمة للحاســـوب الكمـــي. انـــه يستغل قدرة الذرات على عمل أشياء عديدة وحسابات كثيرة في آن واحد.

عمل أشياء عديدة في آن واحد

العناصـــر الأساســـية للحواســـيب التقليدية هي الترانسستور. فلها جهـــدان مختلفان احدهما يمثل الرقم الثنائي 0 والآخر يمثل 1. ان صفاً من الاصفار والآحاد يمثل رقماً كبيراً حيث يمكن اضافته للحاسوب، أو طـــرحه أو مـــضاعفته أو قـــسمته علـــى رقم كبير آخر[1]. ولكن تلك

---

(1) الرقم الثنائي اكتشف في القرن السابع عشر من قبل الرياضي كوتفريد لايبنتس. وهي طريقة تمثيل الارقام بسلسلة من الاصفار والآحاد. وعادة ما نستعمل رقماً عـــشرياً أو أجزاء العشرة. فالرقم على الجانب الايمن يمثل الآحاد، والذي يليه

العناصـــر الأساسية في الحاسوب الكمي عبارة عن ذرات مفردة مكونة مـــن حـــالات متراكبة. وبمعنى ادق، عبروا عن الصفر والواحد آنياً. ولتمييـــزها عـــن القطع الاعتيادية، اطلق الفيزيائيون عليها اسم كيانات القطع الكمية الانفصامية أو القطع الكمي.

فالقطـــع الكمـــية يمكن أن تكون في حالتين (0 أو 1)، والقطعتان الكميـــتان يمكـــن أن تكونا في أربع حالات (00 أو 01 أو 10 أو 11) والـــثلاث قطع في ثماني حالات وهكذا. وبالنتيجة عندما تحسب بقطعة كمـــية مفـــردة، يمكن أن تؤدي عمليتين حسابيتين آنيتين. وحين تحسب بقطعتـــين كميتين، تؤدي أربع غمليات حسابية، أمّا حين تحسب بثلاث قطع كمية فتؤدي ثماني عمليات وهكذا. وإذا لم يتأكد لك، فمع 10 قطع كمـــية هـــناك 1,024 عملـــية حـــسابية، ومع 100 قطعة كمية تحسب المليارات والمليارات والمليارت، أليس هذا مدهشا؟ فالفيزيائيون انهمكوا لفهـــم مضمون الحاسوب الكمي. ولبعض الحسابات تفوقوا بسرعة على الحـــسابات التقلـــيدية، مـــا جعلهـــم يرمون الحواسيب الشخصية خلف ظهورهم.

ولكـــي يهمـــل الحاسوب الكمي، يحتاج تراكب الأمواج إلى محتوى موجـــي اساسي هو التداخل. واول من لاحظ التداخل هو توماس يونغ في القـــرن الثامن عشر، وكان التداخل المفتاح لاقناع كل شخص بأن الضوء عـــبارة عـــن موجة. ومع مطلع القرن العشرين، شوهد الضوء في سلوكه مـــشابهاً ســـيلاً من الجسيمات، حسب تجربة *شقا يونغ* التي افترضت شيئاً هاماً جديداً وغير متوقعٍ، ما يعني كشف الميزة المركزية للعالم المجهري.

يمثل العشرات، والذي يليه يمثل المئات 10×10 وهكذا. فمثلاً 9,217 تعني $7 + 1 \times 10 + 2 \times (10 \times 10) + 9 \times (10 \times 10 \times 10)$. اما في الرقم الثنائـــي أو أجزاء 2، فالرقم 1,101 يعني $1 + 0 \times 2 + 1 \times (2 \times 2) + 1 \times (2 \times 2 \times 2)$، ما يعادل بالأعداد العشرية 13.

التداخل في السماء

فـــي التجـــسيد الحديث لتجربة يونغ، أضيء الشق المزدوج على الـــشاشة المعـــتمة بالـــضوء، والذي اعتبر بشكل لا ينكر بانه سيل من الجـــسيمات. وعملياً يعني استعماله مصدراً ضعيفاً للضوء حيث يمكن للفوتـــونات ان تظهر في وقت واحد. وهناك كشافات حساسة في أماكن مخـــتلفة علـــى الشاشة الثانية تحسب وصول الفوتونات. وبعد التجربة اتضح لبعض الوقت ان الكشافات تبين أشياء ملحوظة.

فبعض الأماكن ترصعت بالفوتونات، أما في بعضها الآخر فلا يوجد أثر للفوتونات بتاتاً. وما هو أكثر من ذلك أن الأماكن التي تظهر عليها آثار الفوتونات وتلك التي لا تظهر عليها آثار الفوتونات تتناوب، مشكلة خطوطاً مستقيمة وعمودية، وهذا بالضبط ما يحدث في تجربة يونغ الاصلية.

لكـــن انتظـــر دقيقة! حزم الضوء والظلام في تجربة يونغ تسبب الـــتداخل. والـــسمة الأساســـية للتداخل تتضمن خلط موجتين من نفس المـــصدر، ضوء من شق واحد مع ضوء من شق آخر. ولكن في هذه الحالـــة تأتـــي الفوتـــونات عبر الشقين كلّ على حدة، وكل فوتون هو بالـــضبط وحـــده، ولا يختلط مع فوتون آخر. إذاً كيف يحدث التداخل؟ وكيف أستطيع معرفة الأماكن التي ستحط فيها الفوتونات؟

هنا على ما يبدو ليس هناك سوى طريقة واحدة، أي بأن يعبر كل فوتون بطريقة ما كلا الشقين آنياً. عندئذ يمكن أن تتداخل الفوتونات مع بعـــضها. وبمعنـــى آخر، كل فوتون يجب أن يكون عبارة عن تراكب حالتـــين، إحـــداهما موجة متطابقة مع الفوتون النافذ عبر الشق الأيسر والأخرى هي موجة متطابقة مع الفوتون النافذ عبر الشق الايمن.

ان تجـــربة الـــشق المزدوج ممكن عملها باستخدام الفوتونات أو الـــذرات أو أي من الجسيمات المجهرية. ويمكن التوضيح بيانياً سلوك

كــل الجــسيمات؛ فيما إذا استطاعت أو لم تستطع ان تصل إلى الشاشة الثانية والمدبرة لنظرتها الشبيهة بالموجة. لكن هذا ليس توضيحاً لتجربة الشق المزدوج. وبشكل حاسم، فالموجات الفردية التي تتظاهر بالتراكب لتتداخل مع بعضها البعض هي المفتاح المطلق للعالم المجهري، وتعتبر غاية في غرابة الظواهر الكمية.

الآن خــذ حواسيب كمية، حيث يمكن عمل حسابات عديدة في آن واحــد بسبب وجود تراكب حالات. فمثلاً، عشرة عناصر حاسوب كمي تــساوي 1,024 حالة، وبالإمكان إنجاز 1,024 عملية حسابية في وقت واحــد. لكــن بالتأكيد كل الجوانب المتوازية للحساب لا تستعمل ما لم تُنــسج مــع بعــضها. والتداخل هو الوسيلة التي تحقق ذلك. أي تحقق 1,024 حالــة تــراكب، والتــي تستطيع التفاعل والتداخل مع بعضها الــبعض. وبسبب التداخل، فالجواب الوحيد للحاسوب الكمي هو القدرة علــى عكــس وتحلــيل مــا الذي حدث في الـــ 1,024 عملية حسابية متوازية.

فكــر في مسألة مجزأة إلى 1,024 قطعة منفصلة، وهناك شخص واحــد يعمل على كل قطعة. فلحل هذه المسألة يستلزم 1,024 شخصاً علــيهم الاتصال فيما بينهم وتبادل النتائج. هذا هو التداخل الذي يصنع الممكن في الحاسوب الكمي.

والــنقطة المهمة القيمة هنا هي انه بالرغم من ان التراكبات هي السمة الأساسية للعالم المجهري، فاللافت للنظر انه لا يوجد شيء ممكن ملاحظــته اطلاقاً. وكل الذي نراه دوماً هو نتائج وجود التراكبات، فما هــي النتائج؟ ومتى تتداخل الأمواج الانفرادية مع بعضها البعض؟ ففي حالــة تجــربة الشق المزدوج، مثلاً، كل الذي نراه هو نموذج التداخل، فنــستنتج بأن الإلكترون كان في تراكب، بحيث ذهب من خلال الشقين آنــياً. وانه لمن المستحيل فعلياً الإمساك بالإلكترون وهو يمر من خلال

كل من الشقين في آن واحد. هذا ما قصدناه بالعبارات المبكرة بانه من الممكن فقط مراقبة نتائج الذرة في مكانين في آن واحد، وليس كونهما فعليا في مكانين بآن واحد.

الكونية

كانت القابلية المميزة للحواسيب الكمية لعمل اعداد ضخمة من الحسابات في وقت واحد محيرة. وعلاوة على ان الحواسيب الكمية العملية هي فعلياً في مرحلة ابتدائية، فعلاجها فقط بمقدار ضئيل من القطع الكمية، ومع ذلك يمكن تخيل حاسوب كمي يؤدي عمل مليارات وتريليونات أو كوادرليونات من الحسابات في وقت واحد. وبالحقيقة من الممكن خلال 30 أو 40 سنة إنشاء حاسوب كمي لعمل حسابات أكثر في وقت واحد من الجسيمات الموجودة في الكون. هذه الوضعية الافتراضية ابرزت السؤال الصعب: أين سيؤدي مثل هذا الحاسوب حساباته؟ وبعد ذلك، إذا كان بإمكان مثل هذا الحاسوب أن يقوم بحسابات كثيرة في وقت واحد أكثر من عدد الجسيمات في الكون، فإن سبب هذا يعود إلى أن الكون لديه مصادر حسابات غير كافية ليقوم بها.

وأحد الاحتمالات الفريدة التي تزوّدنا بحل هذا اللغز، هو ان الحاسوب الكمي يؤدي حساباته في كونية وحقائق متوازية. هذه الفكرة ترجع إلى الطالب الخريج من برنستون الذي يدعى هيوج ايفيرت الثالث. ففي عام 1957، تساءل لماذا يمكن للنظرية الكمية ان تقدم وصفاً براقاً للعالم المجهري للذرات بينما لا تستطيع فعلياً رؤية التراكبات. وجوابه اللافت للنظر هو ان كل حالة تراكب موجودة في واقعية مفصولة تماماً. وبكلمات أخرى، هناك العديد من الحقائق (كونية)، حيث ان كل الأحداث الكمية يمكن حدوثها.

وبالإضـــافة إلى أن ايفيرت اقترح فكرة *عوالم* عديدة قبل اختراع الحواسـيب الكمية، فقد اسقط بعض الضوء عليها. وطبقاً لفكرة العوالم العديـدة، عـندما تعطــي مــسألة للحواسيب الكمية، فإنها تشق نفسها باصدارات أو نسخ متعددة؛ وكل واحدة بحقيقة منفصلة. وهذا هو السبب في أن الحاسوب الكمي الشخصي للصبي المذكور في بداية هذا الفصل، يتــشعب إلـــى نسخ عديدة. وكل نسخة من الحاسوب تعمل على جدلية المــسألة، والجدلـيات تجلب معاً بالتداخل؟ وحسب رؤية ايفيرت، فإن الــتداخل له أهمية خاصة جداً. فهو الجسر الهام بين الاكوان المنفصلة، والوسائل التي بها تتفاعل وتؤثر بعضها على البعض الآخر.

صــراحة لــم تكن لدى ايفيرت أي فكرة حول موقع كل الاكوان المــتوازية، ولم يكن من مناصري من يعمل بفكرة العوالم الحديثة. اما دوغــلاس ادامــز فقد قال بسخرية في **دليل المسافر إلى الكون**: "هناك شــيئان يجب تذكرهما عندما تتعامل مع الاكوان المتوازية. الأول انها ليست متوازية حقيقة، والثاني هي ليست اكواناً حقيقية!"

وبالــرغم مــن هذا الارباك، وبعد مرور نصف قرن على فكرة ايفيــرت عــن العــوالم العديدة، تخضع هذه الفكرة لارتفاع مفاجئ في شــعبيتها. وبازديــاد عدد الفيزيائيين فإن أهمهم وهو ديفيد دويتش من جامعــة اوكــسفورد، أخذ الأمر على محمل الجد. وكما قال دويتش في كتابه **صناعة الحقيقة**: "النظرية الكمية برزت من اعتبارات لغزية. انه التفـسير – الوحيد الذي من الممكن الدفاع عنه– لحقيقة قابلة للملاحظة أو لاحدسية".

إذا ســرت قــدماً مــع دويتش، وفكرة أن العوالم المتعددة تتوقع بالــضبط بــنفس النــتائج لكل تجربة يمكن تصورها كأكثر التفسيرات الملائمة للنظرية الكمية فإن الحواسيب الكمية تبدو بالأساس جديدة تحت الــشمس، والتــي تعتبر المكينات البشرية الأولى المبنية على استغلال

مــصادر الحقائــق المتعددة. وحتى لو لم تؤمن بفكرة العوالم المتعددة، فإنهــا تعطــي طريقة بسيطة وحدسية لتصور ما الذي يستمر في العالم الكمــي اللغزي. فمثلاً، في تجربة الشق المزدوج، ليس من الضروري تخــيل فوتــون واحــد يذهب من خلال كل من الشقين في وقت واحد ويــتداخل مع نفسه. وبدلاً من ذلك، فالفوتون الذي يذهب من خلال شق واحــد يتداخل مع فوتون آخر يمر من الشق الآخر. لكن ربما تتساءل: ماذا عن الفوتون الآخر؟ الفوتون هو كون مجاور، بالتأكيد!

لماذا فقط الأشياء الصغيرة كمية؟

إن بناء الحواسيب الكمية صعب جداً والسبب هو قابلية الحالات الانفرادية للتراكب الكمي لتتداخل مع حالات أخرى مدمرة، أو ملغية بفعــل المحــيط. هــذا التدمــر يُرى بشكل واضح في تجربة الشق المزدوج.

ان بعض انواع كشاف الجسيمات استعملت لتلتقط جسيمة مارة من خــلال أحــد الــشقوق، اما خطوط التداخل على الشاشة فتتلاشى على الفور، وتستبدل بإضاءة منتظمة أكثر أو أقل. فإن مراقبة أي شق يمكن للجسيمة ان تمر منه هي كل ما نحتاجه لتدمير التراكب بمرورها خلال الشقين في وقت واحد. إن مرور الجسيمة من خلال شق واحد فقط يشبه رسم التداخل؛ كما لو انك تسمع صوت تصفيق يد واحدة.

إن ما حدث حقيقة هنا، هو محاولة لايجاد مكان أو لقياس الجسيمة من قبل العالم الخارجي. ان معرفة التراكب من قبل العالم الخارجي هو كــل مـــا يُحــتاج لتدمير التراكب. وهو هكذا على الاغلب إذا اعتبرت التــراكبات الكمــية سراً. وبالتأكيد متى ما عرف العالم السر، فالسر لا يبقى له وجود!

فالتـــراكيبات هي تواصل يمكن قياسه من محيطه. فإننا بحاجة فقط إلـــى فوتون واحد لطرد التراكب واخذ المعلومات لتدميره. هذه العملية للقـــياس الطبيعي تسمى التشتت. وهذا هو السبب الرئيسي بأننا لا نرى ســـلوكاً كمـــياً عاثـــراً في عالم اليوم[2]. بالإضافة إلى ذلك، إننا نفكر بالـــسلوك الكمـــي كـــصفة للأشياء الصغيرة مثل الذرات وليس كصفة للأشـــياء الكبيرة مثل الناس والأشجار. والصفة الكمية هي بالفعل صفة الأشـــياء المعزولة. والسبب في أننا نراها في العالم المجهري وليس في عـــالم اليوم هو أنه من الأسهل عزل الأشياء الصغيرة عن محيطها بدلاً من الأشياء الكبيرة.

ان ثمن الانفصام الكمي هو العزل. وما دامت الجسيمة المجهرية كالـــذرة التـــي تبقى معزولة عن العالم الخارجي، فهي يمكن أن تعمل أشـــياء مخـــتلفة في آن واحد. وهذه ليست صعبة في العالم المجهري، حـــيث إن الانفصام الكمي هو ظاهرة يومية. وعلى كل حال، ففي عالم المقـــياس الكبير الذي نعيش فيه، انه مستحيل تقريباً – مع ما لا يحصى من كوادرليونات من الفوتونات – ان ترتد عن كل شيء في كل ثانية.

ان حفظ الحاسوب الكمي معزولاً عن محيطه هو العقبة الرئيسية التي تواجه الفيزيائيين في محاولة لبناء هذه الآلة. وحتى الآن، فالحاسوب الكمي الأكبـــر الذي خطط الفيزيائيون لبنائه مؤلف من عشر ذرات فقط ويخزن عـــشر قطع كمية. وإن حفظ الذرات العشر معزولة عن محيطها لأي مدة زمنـــية يأخذ كل ابداعاتهم. فالفوتون المفرد يرتد عن الحاسوب، والذرات العشر الانفصامية تصبح على الفور عشر ذرات اعتيادية.

---

(2) انـــا مدرك تماماً بأن كل هذا الحديث عن الكمية بأنها سرّية يدمّر إذا علم بقية العالم أنه مجرد تلاعب. لكنه كافٍ لنقاشنا هنا. والتشتت وهو وسيلة في العالم الكمي مع تراكيبه الانفصالية، يصبِح العالم اليومي حيث ان الأشجار والناس لا يكـــونان فـــي مكانـــين بـــآن واحـــد، مما يمكن حشرة الدود من مواصلة المصارعة. لشرح حقيقي، انظر الفصل الخامس، "الكون التخاطري".

ان التشتت يوضح حدود الحاسوب الكمي، وليس شرطاً ان يتفاعل مـــع الوسط المحيط به من الاجهزة. وبالضرورة سوف يدمر التراكب. إن الحاسوب الآلي يرجع إلى كونه حاسوباً اعتيادياً في حالة مفردة. فآلة العشر قطع الكمية، بدلاً من ان تعطي الاجوبة لـــ 1,024 عملية حسابية مفصولة، يمكن أن تعطيها بآن واحد.

كمـــا ان الحواســـيب الكمـــية المقيدة لحسابات متوازية تعطي في النتـــيجة جـــواباً واحداً. إذاً، فقط عدد محدود من المسائل مناسب للحل باستخدام حواسيب كمية، مما يتطلب الكثير من الإبداع. فمتى ما وجدت المـــسألة لـــتلعب مـــع قوة الحاسوب الكمي، كانت افضل من الحاسوب العادي بشكل كبير، حيث يحسب في ثوان ما يكتسبه الآخرون في وقت أطول من عمر زمن الكون.

وعلى الجانب الآخر، فالتشتت هو ما يميز بناء الحواسيب الكمية. وبسبب التشتت يكون التراكب العملاق للحاسوب الكمي مع كل جوانب تداخلـــه التبادلـــي مدمراً نهائياً. وفقط القول انه مدمر، اختزل إلى حالة مفردة. ان عالم الكم هو بالحقيقة عالم المفارقة.



4

اللادقة وحدود المعرفة

لماذا لا نستطيع على الإطلاق معرفة كل ما نحب معرفته عن الذرة؟ بينما يمكن للذرات معرفة كل شيء

بمرورهم على الأرضية "الكمية"، التقى مسافرونا الكثير من الظواهر ذات الاهمية، مثل البعوضة الكمية، والتي يندر ان توجد نظراً لصغر كتلتها.

جورج كامو

يجب أن يذهب غاضباً. لحظات فقط قبل ان يوقف سيارته الفيراري الحمراء اللامعة في المرآب. وقف هناك على الطريق مفتخراً ومتمتعاً حتى آخر لحظة ممكنة. أغلق الباب الآلي متأرجحاً. وبعد أن مشى قليلاً ليصل إلى الباب الأمامي للسيارة، كانت هناك نسمة هواء، وهزة أرضية، فالتفّ حول نفسه راجعاً إلى الخلف في طريقه ليواجه أبواب المرآب المغلقة، ويجد سيارته الفيراري الحمراء الجميلة.

اشبه بمفخرة هوديني للهروب التي لم ترَ إطلاقاً في عالم اليوم. ففي دنيا صغيرة جداً، هناك حدث مشترك. فخلال لحظة واحدة، يمكن أن تكون الذرة في السجن المجهري، وبعدها تتخلى عن القيود وتنزلق في صمت الليل.

علي مولا

القابلية العجيبة للهروب من سجون المقاومة تعود بالكامل إلى الصفة الموجية للجسيمة المجهولة، والتي تمكن الذرات ومحتوياتها من عمل كل شيء كما تفعل الموجات. وأحد الأشياء التي تقوم بها الموجات هو الاختراق الظاهري للحواجز المنيعة. وهذا ما يعرف بالصفة الموجية. لكن من الممكن شرحها بشعاع ضوئي يسافر خلال مبنى زجاجي ويحاول الهروب إلى الهواء خلف المبنى.

والشيء الأساسي هو الذي حدث عند حافة المبنى الزجاجي، الحد الذي يلتقي فيه الزجاج والهواء. فعندما يضرب الضوء ذلك الحد في زاوية صغيرة، فإنه يرتد إلى المبنى الزجاجي ويفشل بالهروب إلى الهواء في الخلف. فالضوء مقيد في الزجاج. وعلى كل حال، تحدث بعض الأشياء المختلفة جدا إذا كان مبنى زجاجي آخر قريباً من الحافة، وتاركاً مسافة صغيرة بين المبنيين. وكما حدث من قبل، فبعض الضوء ينعكس راجعاً إلى الزجاج. ولكن – وهذا شيء حاسم – يقفز بعض من الضوء من المبنى الزجاجي الثاني.

فالتشابه بين سيارة الفيراري عند هروبها من المرآب وهروب الضوء من المبنى الزجاجي لا يبدو واضحاً جداً. فلكل الاغراض والنوايا، تكون فجوة الهواء حاجزاً منيعاً للضوء فقط كما تعمل جدران المرآب امام السيارة.

والسبب في أن موجة الضوء تخترق الحاجز وتهرب من المبنى الزجاجي هو أن الموجة ليست شيئاً محدداً بل هي شيء ينتشر عبر الفضاء. ولهذا عندما تضرب أمواج الضوء حد الزجاج-الهواء فإنها ترتد إلى الزجاج. وبدلاً من ذلك، فإنها تخترق مسافة قصيرة من الهواء خلف المبنى. وبالنتيجة إذا التقت الموجات بمبنى زجاجي آخر قبل العودة إلى الخلف، فإنها تستمر في مواصلة طريقها. والآن حاول ان تضع مبنى زجاجياً ثانياً على مسافة شعرة واحدة من

المبنى الأول، فيقفز الضوء في فجوة الهواء ويفر إلى مقره الاول.

ان قــدرة الاختراق الظاهرة للحاجز المنيع هي صفة مشتركة لكل انــواع الأمواج، ابتداءً من أمواج الضوء، ومروراً بأمواج الصوت، و وانــتهاء بأمواج الاحتمالية المصاحبة للذرات. ولذلك فهي تبرهن ذاتها فــي العالم المجهري. وربما معظم الامثلة المذكورة هي ظواهر انحلال جسيمات الفا عندما تخرج من سجنها في النواة الذرية.

الخروج من النواة

جــسيمة الفــا هــي نواة ذرة الهيليوم. إنّ النواة غير المستقرة أو المــشعة، تــنفلق فــي بعض الأحيان إلى جسيمة الفا في محاولة يائسة للعــودة إلــى نواة أخف وأكثر استقراراً. والعملية تظهر ارباكاً كبيراً، وبمعنى أصح، إن جسيمة الفا غير قادرة على الخروج من النواة.

فكر في اللعبة الاولمبية للرياضي الذي يقفز فوق السياج المعدني على ارتفاع 5 أمتار. فعلاوة على انه احسن رياضي قفز في العالم، الا انه ليس بامكانه القفز أكثر من ذلك. ولا يوجد انسان لديه القدرة الكافية فــي ســياق ذلك. حسناً، فجسيمة الفا داخل النواة الذرية تجد نفسها في حالــة مــشابهة. فالحاجــز الذي يحبسها صنع بقوى نووية تعمل داخل الــنواة، فهــي فقط حاجز منيع لجسيمة الفا يعمل كسياج معدني صلب للرياضي الذي يقفز.

وخلافاً لكل التوقعات، تعمل جسيمات الفا على الهروب من النواة الذريــة. وهــروبها يعــود كلــياً لسلوكها الموجي. مثل أمواج الضوء المحصورة في المبنى الزجاجي، والتي تخترق فيما يبدو الحاجز المنيع وتــضيع تمامــاً فــي العالم الخارجي. هذه العملية تسمى النفق الكمي، وجــسيمات الفــا يقال عنها *النفق* خارج النواة الذرية. والنفق هو أكثر

الظواهر العامة المعروفة باللادقة، والتي تضع الحد الأساسي حول الذي بإمكانـــنا معرفته عن العالم المجهري، والذي لا يمكننا معرفته. وتجربة الشق المزدوج هي الأكثر توضيحاً لمفهوم اللادقة.

مبدأ اللادقة لهايزنبرك

إن ســـبب كـــون الجسيمة المجهرية شبيهة بالإلكترون، وتستطيع المـــرور خـــلال كـــل مـــن الشقين على الشاشة في آن واحد، هو أنها موجودة نتيجة تراكب موجتين، إحدى الموجات مطابقة للجسيمة المارة خـــلال أحد الشقين والثانية مطابقة لتلك التي تمر من الشق الثاني. لكن هـــذا غيـــر كافٍ لضمان سلوكهما الانفصامي القابل للملاحظة. ولكي يحـــدث ذلـــك، يجب ظهور نموذج التداخل على الشاشة الثانية. ولكن لـــيحدث الـــتداخل فهـــذا بالتأكـــيد يتطلب موجات انفرادية في تراكب المـــوجات. والحقيقة ان التداخل هو المحتوى الحاسم للإلكترون لعرض الـــسلوك الكمـــي الغريب والذي ينتقل إلى تطبيقات عامة حول ما الذي تسمح لنا الطبيعة بمعرفته عن الإلكترون.

ولنقل في تجربة الشق المزدوج اننا نحاول تحديد الشق الذي يمر مـــنه الإلكتـــرون. فـــإذا نجحـــنا، فنموذج التداخل على الشاشة الثانية ســـيختفي. وبعد كل هذا، فالتداخل يتطلب خلط كل من الشيئين. فإذا مرّ الإلكتـــرون واحتمالية مشاركة الموجة خلال شق واحد، فهناك سيكون شيء واحد.

عملـــياً كـــيف نحدد أي شق يمر من خلاله الإلكترون؟ حسناً، إن أســـهل طـــريقة لـــرؤية ذلـــك هي في تجربة الشق المزدوج، والتفكير بالإلكترون كرصاصة أطلقت من مسدس، وبالشاشة كلوح معدني غليظ يحمل شقين عموديين متوازيين. فعندما تطلق الرصاصات على الشاشة

يــدخل بعــضها الشق ويمر خلاله. فكِّر بالشق كقناة عميقة حفرت في معدن غليظ. فالرصاصات المرتدة عن الجدران الداخلية للقنوات ستصل إلــى الشاشة الثانية. وبوضوح ستضرب أي نقطة على الشاشة الثانية. ولكــن ببــساطة، تصور ان الرصاصات تنتهي في نقطة الوسط على الــشاشة الثانــية. وببساطة أيضاً، قل بأنه عند هذه النقطة فإن احتمالية الموجات المشاركة للرصاصات ستتداخل تداخلاً بنَّاءً، ولهذا فهو المكان الذي ستبلله كثير من الرصاصات.

الآن، أيــن الرصاصـــة التــي ترتد داخل الشق، والتي بسبب الــشاشة المعدنية ترتد في الاتجاه المعاكس؟ إن نفس الشيء يحصل عــندما تلعــب التنس وترتدّ الكرة بشكل حاد وسريع عن مضربك. وهــنا مــضربك سيرتد بالاتجاه المعاكس. وبشكل حاسم، سيستعمل ارتــداد الــشاشة لاستنتاج أي شق مرت خلاله الرصاصة. بعد كل ذلــك، إذا تحركت الشاشة يساراً، فالرصاصة يجب أن تذهب خلال الشق على الجانب الايسر، وإذا تحركت يميناً، فعلى الرصاصة الذهاب من جهة اليمين.

وعلى كل حال، نحن نعرف أننا إذا حددنا أي شق تمر من خلاله الرصاصة، فهذا يدمر نموذج التداخل على الشاشة الثانية. وهذا توضيح مباشر لفهم وجهة نظر الموجة. وليس محتملاً ان نرى شيئاً يتداخل مع نفــسه أو نسمع صوت تصفيق كف واحد. لكن كيف نحس بالأشياء من وجهة نظر جسيمة متساوية الصلاحية؟

تذكــر بأن نموذج التداخل على الشاشة الثانية هو أشبه بمقر نقابة المحامين. انها تتألف من *خطوط* عمودية لا أثر للرصاص فيها، متناوبة مع خطوط عمودية يظهر عليها اثر الرصاص. وببساطة، فكّر بخطوط ســوداء وبيضاء. ان مفتاح السؤال هو: من وجهة نظر الرصاصة، ما الذي يدمر نموذج التداخل؟

الجواب مزعج نوعاً ما. فإذا كانت كل رصاصة، بدلاً من طيرانها بشكل صائب باتجاه الخط الاسود، قد سلكت طريقاً جانبياً مزعجاً في طريقها نحو هدفها بحيث تستطيع ان تضرب إما الخط الاسود أو الخط الأبيض المجاور، فإن هذا سيكون كافياً *لمسح* نموذج التداخل. والخطوط التي تلونت بالأبيض سوف تسوّد، أما الخطوط السوداء فستبيضّ. والنتيجة الصافية ستكون رمادية منتظمة. عندئذٍ سيكون نموذج التداخل ممسوحاً.

وبما أنه يستحيل ان نعلم أي رصاصة معطاة سوف تضرب الخط الاسود أو الخط الأبيض المجاور (أو العكس بالعكس)، فالحركة الاضطرابية من جانب واحد لكل رصاصة ستكون غير قابلة للتوقع بالكامل. وكل هذا يأتي من مرور بدون سبب ومن غير تحديد مكان الشق الذي ستمر خلاله الرصاصة.

وبكلمات أخرى، إن التعليق على موضع الجسيمة مثل الإلكترون يضاف إلى الازعاج غير القابل للتوقع. والصحيح هو بالاتجاه المضاد. والتعليق على سرعة الجسيمة يجعل مكانها غير دقيق. فأول شخص أدرك وحدد نوعية هذا التأثير هو الفيزيائي الالماني فيرنر هايزنبرك، ولذلك سمي المبدأ باسمه أي *مبدأ اللادقة لهايزنبرك* تشريفاً له.

وطبقاً لمبدأ اللادقة، فإنه يستحيل معرفة كل من المكان والسرعة للجسيمة المجهرية بدقة كاملة. وهنا ستكون مقايضة. فمكانها الأكثر دقة هو الزامي، والأكثر لادقة هو السرعة. وسرعتها الأكثر دقة هي إلزامية، والأكثر لادقة هو المكان.

تَصَوَّرْ أن هناك فرضاً عن ماذا تعرف في عالم اليوم. إذا كانت لدينا معرفة دقيقة لسرعة الطائرة النفاثة، فلن نكون قادرين على معرفة ما إذا كانت الطائرة فوق نيويورك أو لوس انجلس. وإذا كانت لدينا معرفة دقيقة لمكان الطائرة، فلن نكون قادرين على معرفة ان انطلقت

الطائــرة بــسرعة 1000 كم/ساعة أو 1 كم/ساعة، وحول هبوطها من السماء.

ان مبدأ اللادقة موجود لحماية النظرية الكمية. فإذا استطعت قياس صــفات الذرات وما شابهها احسن مما يسمح به مبدأ اللادقة، فبالإمكان تدميــر ســلوكها الموجــي، وعلــى وجه الخصوص، التداخل. وبدون الــتداخل، ســتكون النظــرية الكمية مستحيلة. ان قياس مكان وسرعة الجسيمة بدقة عالية أكثر من قواعد مبدأ اللادقة يجب أن يكون مستحيلاً. وبــسبب مبدأ اللادقة لهايزنبرك، حين نحاول أن نرى العالم المجهري، يبدو وكأنه ضبابي؛ أشبه بصورة الجريدة التي تبدو مكبرة فوق العادة. والطبــيعة لا تسمح لنا بالقياس الدقيق لكل شيء نرغب بقياسه. وهناك حدود لمعرفتنا.

هــذا الحــد ببــساطة ليس مراوغة لتجربة الشق المزدوج. فهو أساسي. وكما لاحظ ريتشارد فينمان: "لا يوجد أحد يجد دائماً (أو يفكر) طريقة حول مبدأ اللادقة. ولا أحد يشبه ذلك".

هذا بسبب ان جسيمات الفا لها صفة موجية تستطيع الهروب على ما يبدو من سجن النواة الذرية. وعلى كل حال، فمبدأ اللادقة لهايزنبرك يجعل من الممكن فهم الظواهر من وجهة نظر جسيمية.

فعل ما لم يفعله رياضي القفز العالي من قبل

بالعودة إلى ما سبق، إن جسيمة الفا في النواة هي أشبه بالرياضي الاولمبي للقفز العالي المحبوس بسياج ارتفاعه 5 أمتار. تقول الأحاسيس المــشتركة انها تتحرك داخل النواة وبسرعة غير كافية لتبدأ القفز عبر الحاجز. لكن تلك الاحاسيس المشتركة مطبقة فقط في عالم اليوم، وليس في العالم المجهري. والمتورط في السجن النووي، هو جسيمة الفا والتي

تكـــون فــــي الفـــضـاء، ومكانها الزامي بدقة عالية. وطبقاً لمبدأ اللادقة لهايزنبـــرك، فإن السرعة بالضرورة تتسم باللادقة. وبالإمكان ان تكون أكثر مما نعتقد. وإذا كانت كذلك، فهناك تناقض لكل التوقعات، فجسيمة الفـــا من الممكن ان تقفز من النواة، وهي جديرة بالمقارنة مع رياضي القفز العالي الذي يقفز فوق سياج ارتفاعه 5 أمتار.

ان جسيمات الفا تخرج إلى العالم من سجنها أكثر دهشة مما تكون عليه سيارة الفيراري التي تخرج من مرآبها إلى العالم. وهذا *النفق* يعود لمـــبدأ اللادقـــة لهايزنبرك. والنفق هو عملية ذات طريقين. ولا تخرج الجـــسيمات الذريـــة الفـــرعية كجسيمات ألفا من النواة فقط، بل يمكنها العودة إليها (النواة) أيضاً. والحقيقة، فإن هذا النفق هو عكس ما يساعد على فهم الغموض الكبير: لماذا تشرق الشمس؟

حفر النفق في الشمس

الـــشمس تولد الحرارة بدمج البروتونات مع بعضها - نوى ذرات الهيدروجـــين - لصنع نواة ذرة الهيليوم(1). والاندماج النووي يُنتج ما يـــشبه انفجـــار ســـد من الطاقة الرابطة النووية، والتي تبرز نهائياً من الشمس على شكل ضوء.

لكن الاندماج النووي لديه مشكلة. فقوة التجاذب لدمج البرتونات، *القـــوة النووية القوية*، لديها مدى قصير جداً. فلكي يكون بروتونان في الـــشمس تحت تأثير الشمس ومضغوطين مع بعضهما، يجب أن يكونا قريبين من بعضهما البعض. لكنّ هذين البروتونين، بما يتمتعان به من شحنتين كهربائيتين متشابهتين يتنافران بشكل شرس. وللتغلب على هذا التنافـــر العنيف، فالبروتونان يجب أن يصطدما بسرعة كبيرة. وعملياً

(1) انظر الفصل الثامن، "$E=mc^2$ ووزن شروق الشمس".

يــتطلب هــذا العملَ في قلب الشمس، حيث يتواصل الاندماج النووي، ليكون تحت تأثير درجة حرارة عالية جداً.

حــسب الفيزيائيون هذه الحرارة عام 1920، عندما توقعوا ان الــشمس تتواصــل فــي الاندماج النووي، فوجدوها مقاربة لــ 10 مليارات درجة تقريباً. وعلى كل حال مثّل هذا مشكلة. فالحرارة في قلــب الــشمس معروفة بأنها تبلغ حوالى 15 مليون درجة؛ أي أنها تقــريباً أقل بألف مرة. ولكن الاصح، ان الشمس يجب أن لا تشرق ابــداً، علــى حــد قول الفيزيائي الالماني فرتز هاوترمانز والفلكي الانكليزي روبرت اتكنسون.

عــندما يقتــرب البروتون في قلب الشمس من بروتون آخر فإنه يــتدافع بقوة تنافر عنيفة، وفي مواجهة الجدار العالي المحيط بالبروتون الثاني. وعندما تكون درجة الحرارة في قلب الشمس 15 مليون درجة، يظهر البروتون متحركاً بعيداً وبطيئاً جداً ليقفز فوق الجدار. وعلى كل حال فمبدأ اللادقة غيّر كل شيء.

ففــي عام 1929، أنجز هاوترمانز واتكنسون الحسابات الملائمة. فاكتشفا البروتون الأول الذي يستطيع على ما يبدو عبور الحاجز المنيع حــول البــروتون الثانــي بــنجاح، وينصهر معه حتى دون الحرارة المنخفضة 15 مليون درجة. وما هو أكثر من ذلك، أن هذا يفسّر وعلى نحو كامل الحرارة الكاملة الخارجة من الشمس.

بعــد ليلة من حسابات هاوترمانز واتكنسون، حاول هاوترمانز ان يخــتم مــع صــديقته بالاتجاه الذي لم يسبقه إليه أحد في التاريخ. فعند وقــوفهما أســفل ســماء صافية غاب عنها القمر، افتخر بانه الشخص الوحــيد في العالم الذي عرف سبب لمعان النجوم. وبعد سنتين، وافقت شــارلوت ريفنــستال على الزواج من هاونترمانز. (وبالحقيقة تزوجت مرتين، ولكن تلك قصة أخرى).

وكجــزء من ضوء الشمس، يشرح مبدأ اللادقة لهايزنبرك الشيء الأقرب لنا: وجود الذرات في اجسامنا.

اللادقة ووجود الذرات

فــي عــام 1911 اظهــرت تجارب كمبرج للفيزيائي النيوزلندي ارنست رذرفورد ان الذرة عبارة عن نظام شمسي صغير. فهي عبارة عــن إلكتــرونات صغيرة تدور حول نواة ذرية محكمة، وهذا ما يشبه دوران الكــواكب حــول الــشمس. وعلــى كــل حال، طبقاً للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل، فالإلكترون يجب أن يشع طاقة ضوئية – خــلال جزء من مئات ملايين جزء من الثانية – ويدور بشكل حلزوني حول النواة. وكما أشار إليها ريتشارد فينمان: "إن الذرات مستحيلة تماماً من وجهة النظر الكلاسيكية". ولكن الذرات موجودة. وتوضيحها يكون عبر نظرية الكم.

والإلكتــرون لا يمكن أن يكون قريباً من النواة لأنه إن حدث ذلك فمكانــه ســيكون معروفاً بدقة. لكن طبقاً لمبدأ اللادقة لهايزنبرك، فإن سرعة الإلكترون ستكون غير دقيقة. وستكون بارزة وكبيرة.

تخيل نحلة هائجة في قفص ينكمش، فكلما انكمش القفص، ازدادت الــنحلة هــيجاناً وعــنفاً مصطدمة بجدران القفص. وجميل هو سلوك الإلكترون في الذرة. فإذا كبس داخل النواة، فإنها ستكسب سرعة كبيرة، بحيث يصعب أن يبقى محصوراً في النواة.

مبدأ اللادقة لهايزنبرك يشرح لماذا لا تسقط الإلكترونات لولبياً في النواة، وهذا هو السبب النهائي في أن الأرض تحت اقدامنا تكون صلبة. لكــن مــبدأ اللادقــة يقوم بما هو أكثر من شرح بسيط لوجود الذرات وصــلابة المادة. إنه يشرح لماذا الذرات كبيرة جداً، أو على الأقل أكبر بكثير من النوى في قلب الذرة.

لماذا تكون الذرات كبيرة جداً

بالعودة إلى الذرة المثالية فإنها أكبر 100,000 مرة من النواة في مركـــزها. وإن فهم لماذا تكون هناك كمية مذهلة من الفراغ في الذرات يتطلب دقة أكثر حول مبدأ اللادقة لهايزنبرك. نتكلم بحزم ووضوح، انه يقــول ان للذرة زخماً، وموضعاً – أكثر من سرعتها – والتي لا يمكن تعيينهما في آن واحد بدقة تصل إلى 100%.

ان زخم الجسيمة هو نتاج كتلتها وسرعتها. وفي الحقيقة، إنه ليس سوى قياس لمدى صعوبة ايقاف الشيء المتحرك. فالقطار مثلاً، له زخم كبيـــر مقارنـــة بالسيارة؛ حتى لو كانت السيارة سريعة. والبروتون في الـــنواة أكبر بـــ 2000 ضعف من حجم الإلكترون. وطبقاً لمبدأ اللادقة يكـــون البـــروتون والإلكتـــرون محصورين بنفس الحجم من الفضاء، والإلكترون سيتحرك بسرعة تصل إلى 2000 ضعف.

أشرنا سابقاً إلى سؤال هو: لماذا تكون الإلكترونات في الذرة ذات حجم أكبر من البروتونات والنيوترونات داخل النواة لتطير حول النواة؟ لكـــن الذرات ليست فقط أكبر بـــ 2000 مرة من نوياتها، بل إنها أكبر بحوالى 100,000 مرة. فلماذا؟

الجـــواب هـــو ان الإلكترون في الذرة والبروتون في النواة ليسا خاضـــعين لـــنفس القوة. بينما تكون الجسيمات النووية ممسوكة بقوى *نـــووية قـــوية* ضخمة، تكون الإلكترونات ممسوكة بقوى نووية ضعيفة جداً. فحركة الإلكترونات حول النواة مرتبطة بخيط قماشي مرن، بينما البـــروتونات والنيوتـــرونات مقيدة بخيط أسمك بـــ 50 مرة. وهذا هو تفسير لماذا يكون حجم الذرة أكبر بـــ 100,000 مرة من حجم النواة.

لكن الإلكترونات في الذرة لا تدور على نفس المسافة (البعد) من الـــنواة. ويسمح لها بالدوران في مدى من المسافات. ليتبين انها تتطلب مأوى آخر لموجة أخرى، وهذا هو أحد مزامير القربة.

الذرات ومزامير القربة

هــناك دائماً طرق مختلفة للنظر إلى الأشياء في عالم الكون. فكل ومــضة حقيقــية هي محيرة ومحبطة. وإحدى الطرق هي بالتفكير بأن مــوجات الاحتمالية المشاركة لإلكترونات الذرة أشبه بموجات الصوت المحــصورة فــي مزاميــر القربة. وليس ممكناً ان نرسم أي نغمة من مــزمار القــربة. فالصوت يتذبذب في عدد محدد من الطرق المختلفة، وكل نغمة في درجة أو تردد معروف.

وهــذه تعــود لصفة عامة للأمواج، وليس فقط الأمواج الصوتية. وفــي فــضاء محصور تكون الأمواج موجودة فقط في ترددات معرّفة ومفردة.

والآن فكــر فــي الإلكتــرون في الذرة. له سلوك كالموجة، وانه متشبث بقوة بواسطة قوى كهربائية داخل النواة الذرية. وربما لا يكون الأمــر هــو نفسه كما لو أنه في شرك في الحاوية الفيزيائية. على كل حــال، فإنها تحصر موجة الإلكترون بكل تأكيد في جدار مزمار القربة الــذي يحــصر موجة الصوت. وموجة الإلكترون يمكن تواجدها فقط بترددات محددة.

ان تــرددات أمواج الصوت في مزمار القربة، والأمواج الإلكترونية في الذرة تعتمد على مواصفات المزمار. فمثلاً مزمار قربة صغير ينتج نغمــات أعلــى مــن المزمار الكبير مع صفات للقوة الكهربائية للنواة الذرية. عموماً هناك يوجد تردد منخفض واساسي وسلسلة من الترددات العالية *فوق النغمات*.

ان مــوجة التــردد العالي تبدو عليها ارتفاعات وانخفاضات في فضاء الموجة. انها الفأس الأكثر عنفاً. وفي حالة الذرة، فالموجة تقابلها الحــركة الاســرع، لأكثر الإلكترونات طاقة. وهي القادرة على تحدي الجذب الكهربائي للنواة أو الدوران في مدار ابعد.

الـصورة التـي تبرز هي لإلكترون يسمح له بالدوران فقط على مـسافة خاصـة مـن النواة. وهذا مغاير تماماً للنظام الشمسي، حيث الأرض وبقـية الكـواكب تـدور في مسافات متباينة عن الشمس. هذه الـصفة تلقـي بظلالها على فرق هام آخر بين العالم المجهري للذرات وعـالم اليوم. ففي عالم اليوم كل الأشياء متواصلة - الكوكب يستطيع الدوران حول الشمس اياً كان المكان، والناس يمكن أن يكونوا بأي وزن يحـبونه - بينما الأشياء في العالم المجهري متقطعة؛ فالإلكترون يكون موجـوداً فقط في مدارات محددة حول النواة، والضوء والمادة يدخلان بمقدار غير قابل للانقسام. والفيزيائيون يسمون هذا المقدار بالكم، ولهذا عُرفت فيزياء العالم المجهري بالنظرية الكمية.

معظـم المـدار الداخلي للإلكترون في الذرة عُين باستخدام مبدأ اللادقة. وذلك بسبب مقاومته الشبيهة بالبوق، ولكونه محصوراً في فراغ صـغير. لكن مبدأ اللادقة لا يمنع ببساطة الأشياء الصغيرة مثل الذرات مـن الانكماش بلا حدود. وهو شرح نهائي لصلابة المادة. وكذلك يمنع الأشياء الكبيرة من التقلص بلا حدود. فحلُ السؤال حول الأشياء الكبيرة هو النجوم.

اللادقة والنجوم

الـنجم هـو كـرة عملاقة من الغاز ترابطت مع بعضها البعض بـسحب جاذبي لمكوناتها المادية. هذا السحب هو محاولة ثابتة لتقلص الحجـم. وإذا لم يقاوم ذلك، فسوف ينهار إلى مقدار ضئيل يسمى الثقب الأسـود. وبالنـسبة للشمس سيحتاج إلى أقل من نصف ساعة. وبما أن الـشمس معروفة جداً بأنها لا تنهار إلى مقدار ضئيل، فهناك قوة أخرى مـضادة للجاذبـية. تلـك التي تأتي من المادة الساخنة داخل الشمس. والـشمس مـع بقية النجوم الاعتيادية الأخرى هي في حالة مرهفة من

الـــتوازن. وقـــوة الجاذبـــية باتجـــاه الداخل مكافئة بالضبط لنفس القوة الخارجية نتيجة حرارتها الداخلية.

هـــذا التوازن هو مؤقت. والقوة الخارجية يمكن الحفاظ عليها فقط حـــين يكـــون هناك وقود للاحتراق يبقي النجوم حارة. عاجلاً ام آجلاً، فالوقـــود ســـينفد. وســـيحدث هذا للشمس في غضون 5 مليارات سنة أخـــرى. وعـــندما يحدث، فالجاذبية ستسود. وعدم المقاومة يؤدي إلى تصادم النجم وتقلصه ليكون أصغر.

لكن كل هذا ليس ضياعاً. وفقاً لمفهوم الكثافة، إن المحيط الساخن داخـــل الـــنجم، والتصادم العنيف والمتكرر بين الذرات ذات السرعات العالـــية والتـــي تصطدم إلكتروناتها مع بعضها، يوجدان حالة البلازما وهي عبارة عن غاز من النوى الذرية المختلطة مع غاز من الإلكترونات. فهذه الإلكترونات الناعمة تأتي لتنقذ النجم من التقلص السريع. وبما أن الإلكتـــرونات فـــي مادة النجم مضغوطة لتكون قريبة من بعضها، فإنها تـــربك لكونها دائمة العنف حسب مبدأ اللادقة لهايزنبرك. وهي تسحق كـــل مـــا يحاول حصرها. وهذا السحق الشمولي ينتج في قوة خارجية هائلة. وبالفعل، انها كافية لتبطئ وتوقف تقلص النجم.

إن الميـــزان الجديـــد متأثـــر بـــسحب القـــوة الداخلية للجاذبية المـــتوازية ليس بواسطة القوة باتجاه الخارج للمادة الساخنة للنجم بل بالقوة المجرّدة لإلكتروناتها. والفيزيائيون سموها ضغط التحلل. لكنه فقـــط عـــبارة عـــن مصطلح لمقاومة الإلكترونات لحبسها قريبة من بعـــضها الـــبعض. ان الـــنجم المـــدعم ضد الجاذبية بواسطة ضغط الإلكتـــرون يعرف بالقزم الأبيض. وهو أكبر قليلاً من حجم الأرض ويمـــثل حوالى جزء من مليون جزء من حجم النجم السابق. فالقزم الأبيض هو مشروع مكثف ضخم، وحجم مكعب من السكر من مادته يزن أكثر من وزن السيارة العائلية.

وفي أحد الأيام ستصبح الشمس قزماً أبيض. ومثل هذه النجوم لا وسائل لديها لتعويض حرارتها الضائعة. فهي ليست أكثر من جمرة نجمية، تبرد بتصلب وتذوب تدريجياً. لكن ضغط الإلكترون يمنع الاقزام البيضاء من التقلص تحت تأثير الجاذبية المحددة. ان النجم الأكثر ضخامة، هو الأقوى بجاذبيته الذاتية، وإذا كان النجم ضخماً بما يكفي، فجاذبيته ستكون مساعدة بما يكفي للتغلب على المقاومة الصلدة لإلكترونات النجم.

وبالحقيقة فالنجم مخرب من كلا الجانبين الداخلي والخارجي. والنجم الأقوى جاذبية، هو الأكثر ضغطاً للغاز في الداخل. والأكثر ضغطاً للغاز هو الأكثر حرارة، كأي شخص يستخدم منفاخ الدراجة الهوائية. وبما أن الحرارة هي لا شيء أكثر من الهزات المجهرية للمادة، فإن الإلكترونات بداخل النجم تلف دائماً وبسرعة كبيرة. وبالحقيقة فإن تأثيرات النسبية أصبحت هامة[2]. تصبح الإلكترونات أضخم من سرعتها، وهذا يعني انها أقل فعالية في مواجهة جدران سجونها.

ويعاني النجم من حظ نحس مضاعف، مصطدماً بالجاذبية الأقوى وفي الوقت نفسه القابلية للقتال الخلفي. التأثيران يجتمعان ليؤكدا أن القزم الأبيض الاثقل يمكن أن يكون 40% أضخم من الشمس. وإذا كان النجم أثقل من حد شاندراسيخار، فضغط الإلكترون سيكون بلا قوة ليوقف الانهيار الرأسي ويذهب إلى الانكماش.

ومرة أخرى، ليس كل ذلك ضياعاً. وبالفعل، ينكمش النجم كثيراً بالرغم من أن إلكتروناته تمقت بشدة كونها محصورة في حجم صغير، فهي بالفعل مضغوطة في النوى الذرية. وهناك تتفاعل الإلكترونات مع البروتونات لتكوين النيوترونات لكي يصبح النجم كتلة عملاقة من النيوترونات.

---

(2) انظر الفصل السابع، "موت المكان والزمان".

وكـــل جـــسيمات المادة – وليس فقط الإلكترونات – تقاوم لكونها محصورة بسبب مبدأ اللادقة لهايزنبرك. والنيوترونات أكثر ضخامة بآلاف المـــرات مـــن الإلكتـــرونات. وعلى ما يبدو فإنها تتكمش في حجم أصغر بآلاف المرات لتبدأ حالة المقاومة الجديدة. وبالحقيقة، انها تتكمش معاً حتى تكون ملامسة لبعضها قبل ان توقف نهائياً تقلّص أو انكماش النجم.

ان النجم المدعم ضد الجاذبية بضغط تحلل النيوترون يعرف بنجم النيوتـــرون. وبـــدوره، فهـــو نواة ذرية ضخمة مع كل الفضاء الفارغ المـــنكمش خـــارج مادته. وان معظم الذرات هي فضاء فارغ. ونوياتها أصـــغر بـــــ 100,000 مرة من غيمة الإلكترونات المحيطة. ونجوم النيوتـــرون أصـــغر بـــــ 100,000 مرة من النجم العادي. ما يجعلها بعـــرض 15 كم؛ أي ليس أكبر من جبل ايفرست. ولهذا فكثافة مكعب من السكر من مادة نجم النيوترون هي أكثر من الجنس البشري كاملاً. (وهـــذا هو توضيح للفضاء الفارغ في كل ما نحن فيه. اكبسها جميعاً، والبشرية ستتوافق مع حجم يدك).

ان مثل هذه النجوم يعتقد انها تشكل العنف في الانفجارات العملاقة. وبيـــنما تكون المناطق الخارجية للنجم منحنية تحت الفضاء، ينكمش القلب الداخلـــي ليشكل نجم النيوترون. ان نجوم النيوترون تكون صغيرة وباردة، لـــذا مـــن الـــصعب أن تكوّن بقعة. وعلى كل حال، فالنجوم تنشأ بدوران ســـريع جـــداً، وتُنتج أشعة ضوئية من الأمواج الراديوية والتي تضيء السماء. ان مثل هذه النجوم الخافقة أو النابضة تلوح بوجودها للفلكيين.

اللادقة والفراغ

الاقـــزام البيـــضاء ونجـــوم النيوترون هي جزء – وربما النتيجة الأكثـــر ملاحظة لمبدأ اللادقة لهايزنبرك – من الرؤية الحديثة للفضاء الفـــارغ. انهـــا ببساطة غير فارغة. ومبدأ اللادقة ممكن إعادة صياغته

لــنقول انـــه مـــن المستحيل ان نقيس آنياً طاقة الجسيمة ومسافة الزمن لــتواجدها. وبالنتيجة إذا اعتبرنا ما يحدث في منطقة الفضاء الفارغ في مسافة زمنية صغيرة جداً، فهناك ستكون لادقة كبيرة في محتوى الطاقة لتلك المنطقة. وبكلمات أخرى، يمكن للطاقة ان تبدو بلا شيء.

والآن، الكتلة شكل من أشكال الطاقة[3]. هذا يعني ان الكتلة يمكن أن تــبدو بــلا شـــيء. الــشرط هنا ان تظهر فقط لمجرد شقٍ ثانٍ قبل اخــتفائها مــرة أخــرى. وحسب قوانين الطبيعة، والتي عادة ما تمنع ظهــورها مــن لا شيء، تظهر لتبدو عيناً عمياء للأحداث التي تحدث وبــسرعة جداً. انها نوعاً ما تشبه والد المراهق الذي لا يرى ابنه وهو يأخذ السيارة طوال الليل ويرجعها إلى المرآب قبل انتهاء اليوم.

وعملياً فالكتلة تستحضر خارج الفضاء الفارغ في شكل الجسيمات المجهــرية للمــادة. والفــراغ الكمـــي هـــو بالفعل مستنقع مضطرب بالجــسيمات المجهــرية مــثل الإلكترونات التي تتفرقع ثم تتلاشى مرة أخــرى[4]. وهذا ليس مجرد نظرية. وهي بالفعل نتيجة قابلة للملاحظة. فالبحـــر العكر من الفراغ الكمي يقاوم فعلياً الإلكترونات الخارجية من الذرة، وهناك تغيرات طفيفة جداً لطاقة الضوء يمكن أن تخرج[5].

وحقــيقة أن قوانين الطبيعة تسمح للبعض ان يأتي من لا شيء لا يفرُّ منها المهتمون بعلم الكون، وهم الأشخاص الدائمو التفكير في أصل الكــون. وهم يتعجبون، أيكون هذا الكون الكامل لا شيء أكثر من كونه تذبذباً كميّاً للفراغ؟ انها فكرة ممتازة.

---

(3) انظر الفصل الثامن، "$E=mc^2$ ووزن شروق الشمس".

(4) فعلــياً كــل جــسيمة تــوجد على امتداد الجسيم المضاد، وهو الجسيم ذو المواصــفات المعاكــسة. لــذا فــشحنة الإلكتـــرون السالبة توجد دائماً مع البوزترون الموجب الشحنة.

(5) هذا التأثير يسمى ازاحة الحمل.



5

الكون التخاطري

كيف تؤثر الذرات بعضها على البعض الآخر
في آن واحد حتى عند الاوجه المتضادة للكون

نورتي بابتهاج، السيد سكوت

النقيب جيمس ت. كيرك

تـــدور العملـــة المعدنية بشكل حلزوني. هذه العملة موضوعة في صـــندوق قـــوي مغمور بالطين بأسفل خندق داخل المحيط العميق. لا تـــسأل ما الذي جعل العملة تلف بشكل حلزونـي أو ما الذي يحافظ على دورانهـــا الحلزونـي. هذه إذاً فكرة حسنة خارج القصة! والنقطة هي ان هناك عملة كثيرة الدوران مشابهة في صندوق مماثل موجود على القمر البارد، في المجرة البعيدة من الجانب الثاني للكون.

سقطت العملة الأولى على وجهها. وبدون دوران برمي مجرد، وبعد عشرة مليارات سنة ضوئية من الأرض سقطت شبيهتها على الوجه الآخر.

العملة على الأرض تتساوى بسقوطها على قفاها ومثيلتها البعيدة على وجهها. هذا ليس بالمهم. فالشيء الهام هو ان العملة على الجانب البعيد من الكون تعرف على الفور حالة نظيرتها الأرضية البعيدة جداً فتفعل عكسها.

لكن كيف يمكن أن نعرف ذلك؟ إن حدود سرعة الكون في كوننا هـــي سرعة الضوء[1]. وحيث ان العملتين فصلتا بعشرة مليارات سنة ضـــوئية، فالمعلـــومة حول إحدى العملتين تحتاج على الأقل إلى عشرة ملـــيارات ســـنة ضوئية قبل وصول المعلومة الثانية. علاوة على انهما تتعرفان على بعضهما في لحظة.

هـــذا الـــنوع من *الفعل الشبحي عن بعد* يقودنا إلى واحدة من اهم الميزات الملاحظة في العالم المجهري. ولهذا انتفض اينشتاين معلنا ان النظرية الكمية خطأ. وبالحقيقة كان اينشتاين مخطئاً.

ففـــي العـــشرين سنة الماضية، راقب الفيزيائيون سلوك العملتين المفـــصولتين، بمـــسافات بعيدة. والعملات هي عملات كمية، والمسافة ليـــست بالتأكيد مسافة عرض الكون[2]. ومع ذلك، فالتجريبيون نجحوا بتوضيح ان الذرات ومثيلاتها يمكن لها التواصل في آن واحد في عنف كامـــل مع حاجز سرعة الصوت. والفيزيائيون عمّدوا هذا النوع النحس مـــن تـــوارد الخواطـــر الكمي باللاموضعي. وأحسن طريقة لفهمه هي باعتبار الصفة الفريدة للجسيمة والتي تسمى برماً (دوران).

الفعل الشبحي عن بعد

إن الـــدوران هو الوحيد في العالم المجهري. والجسيمات التي لها سلوك برمي تدور بارتفاعات برمية صغيرة. ويبدو أنها لا تدور فعلياً!

---

(1) انظر الفصل السابع، "موت المكان والزمان".

(2) فـــي الحقيقة، إن العملتين الكميتين يجب أن تتواجدا معاً، ثم بشكل منفصل لإظهـــار الفعل الشبحي عن بعد، وهذا سبب آخر لكي لا تؤخذ قفا العملات علـــى الجـــوانب المختلفة للكون بجدية. وكما أشرنا انها فكرة حسنة خارج القـــصة. وانهـــا موجـــودة لمواكبة حقيقة واحدة ومدهشة وهي أن النظرية الكمـــية تـــسمح للاشياء ان يؤثر بعضها على بعض الآخر في وقت واحد، حتى على الاوجه المتعاكسة للكون.

ومــرة أخــرى نصل إلى عكس اللاوعي الأساسي للعالم المجهري. ان دوران الجسيمات - مثل عدم قابليتها المتأصلة على التوقع - هو شيء يتــشابه بــشكل غيــر مباشر مع عالم اليوم. والجسيمات المجهرية لها مقادير مختلفة من الدوران. فالإلكترون يحمل أقل كمية. وهذا يسمح له بالــدوران فــي طــريقين ممكنين. وفكر بأن تبرم مع وعكس عقارب الساعة (مع أنه في الحقيقة لا يدور إطلاقاً!).

فإذا نشأ الاكترونان مع بعضهما، يدور الاول مع عقارب الساعة بينما يدور الثاني عكس عقارب الساعة؛ وسيلغيان دورانهما. والفيزيائيون يقولــون ان الــدوران الكلــي يــساوي صفراً. وبالتأكيد فإن زوجاً من الإلكترونات من الممكن أن يكون دورانهما الكلي يساوي صفراً إذا دار احدهما مع عقارب الساعة والثاني عكس عقارب الساعة.

والآن هناك قانون في الطبيعة، ويقول بأن الدوران الكلي لمثل هذا الــنظام لا يمكــن أن يتغير ابداً. (وبالفعل يسمى قانون المحافظة على العزم الزاوي). ولهذا عند نشأة زوج من الإلكترونات بعزم كلي يساوي صــفراً، فإن دوران هذا الزوج يجب أن يبقى صفراً ما دام الإلكترونان موجودين.

ولا شيء غير اعتيادي، فإن هناك طريقة أخرى لنشأة الإلكترون بدوران كلي يساوي صفراً. فنقول إذا كانت حالتان من النظام المجهري ممكنتين فإن تراكبهما ممكن أيضاً، وهذا يعني انه يمكن انشاء زوج من الإلكترونات في وقت واحد من اتجاه عقارب الساعة إلى عكس عقارب الساعة والعكس صحيح.

ومــاذا بعد؟ لنتذكر ان مثل هذا التراكب موجود فقط ما دام زوج الإلكتــرونات معــزولين عن بعضهما. ان العزم الخارجي يتفاعل مع الــزوج، وهذا التفاعل ممكن، وبامكان أي شخص ان يتأكد ليرى ماذا يفعل زوج الإلكترونات، فالتراكب يخضع للتشتت ومن ثم يدمر الزوج

الإلكتروني. وغير قادر على البقاء أطول في حالة الانفصام، يعدل زوج الإلكتـــرونات لـــيكون إمـــا مع اتجاه عقارب الساعة - عكس عقارب الساعة أو اتجاه عكس عقارب الساعة - أو عكس عقارب الساعة.

ومـــا يزال الشيء غير عادي (على الأقل في العالم المجهري!). الآن تخـــيل ذلـــك بعد نشأة الإلكترونات في حالة انفصامية، فإنها تبقى معـــزولة ولا أحـــد يـــشاهدها. وبدلاً من ذلك، يؤخذ إلكترون واحد في صندوق لمكان ناءٍ. وفقط عندها يمكن لشخص واحد أن يفتح الصندوق ويلاحظ دوران الإلكترون.

فـــإذا دار الإلكترون في المكان البعيد باتجاه عقارب الساعة، ففي اللحظة ذاتها يجب على الإلكترون الآخر أن يتوقف عن كونه في حالة انفـــصامية، ويُفترض ان يدور عكس عقارب الساعة. والدوران الكلي يبقـــى صـــفراً. وعلـــى الجهة الأخرى إذا كان الإلكترون يدور عكس عقـــارب الساعة فمثيله يفترض أن يدور في اللحظة نفسها مع عقارب الساعة.

وهـــذا لا يهم إذا كان أحد الإلكترونين في صندوقٍ فولاذيٍ مدفونٍ حتـــى نـــصفه فـــي قاع البحر والآخر في الجانب البعيد للكون. فذلك الإلكترون يستجيب في اللحظة نفسها للحالة الأخرى. وهذه ليست مجرد نظرية خفية أو سرية. والتأثير المباشر يمكن رؤيته في المختبر.

ففـــي عـــام 1982، أنشأ ألين اسبيكت وزملاؤه في جامعة جنوب باريس زوجاً من الفوتونات، وارسلوا اعضاء من كل زوج إلى كشافين مفـــصولين بمـــسافة 13م. قاس الكشافان استقطابية الفوتونات والصفة المـــتعلقة بدورانهما. فريق اسبيكت شاهد ان قياس استقطاب الفوتونات فـــي أحـــد الكشافين يؤثر على الاستقطاب المقاس بالكشاف الثاني. هذا التأثيـــر انتقل بين الكشاف بأقل من 10×10^{-9} ثانية. وبشكل حاسم، هذا كان ربع وقت الزمن لشعاع الضوء ليجسر هوة 13م.

واقل مما يبدو فإن بعض التأثير المتنقل بين الكشافين هو أربع اضعاف سرعة الصوت. فإذا كانت التقنية ممكنة لقياس المسافة الزمنية القصيرة، فإن اسبيكت، أوضح ان التأثير الشبحي سيكون أسر ع. والنظرية الكمية كانت صحيحة. وا ينشتاين، غفر الله له، كان مخطئاً.

الصفة اللاموضعية لا تحدث البتة في العالم الاعتيادي غير الكمي. وكتلة الهواء ربما تنشق إلى اعصارين، احدهما يدور مع عقارب الساعة والآخر عكس عقارب الساعة. ولكن تلك الحالة بأكملها ستبقى - دوران في اتجاهات متضادة - حتى خروجهما معاً من القوة الدافعة. ان الفرق الحاسم في العالم المجهري الكمي هو ان دوران الجسيمات غير مثبت حتى لحظة مراقبتهما. وقبل مراقبة دوران أحد الإلكترونين في الزوج، فإن اتجاه دورانهما لا يمكن توقعه بتاتاً. فهناك فرصة 50% ليكون مع عقارب الساعة و50% ليكون عكس عقارب الساعة. (ومرة أخرى، نواجه صعوبة العشوائية المجردة في العالم المجهري). ولكن لا توجد طريقة لمعرفة اتجاه دوران الإلكترون إلى أن يراقب، وفي الوقت نفسه يدور الإلكترون الآخر باتجاه معاكس؛ وليس مهماً كيف سيكون حال الجسيم الآخر.

التشابك

في قلب اللامكان، تميل الجسيمات لتتفاعل مع بعضها لتصبح متظافرة أو متشابكة، وبذلك تعتمد صفات إحداها دوماً على صفات الأخرى. وفي حالة الزوج الإلكتروني، تقف الجسيمات المتشابكة على مسافة معلومة؛ بما يشبه الشريكين المتحابين المرتبطين في كيان كامل. ولا يهم كيف يجذب الأبعد منهما، فهما يبقيان مرتبطين للابد.

التوضيح الاغرب للتشابك هو وبدون شك اللامكان. وبالحقيقة، إذا تمكنا من لجمه فبالإمكان انشاء نظام اتصالات فوري. ومعه بامكاننا

مهاتفة الجانب الآخر من العالم بدون تأخير زمني. وفي الحقيقة بالإمكان مهاتفة الجانب الآخر من الكون بدون تأخير زمني! ولن ننزعج بعد الآن من سرعة الصوت المزعجة.

وعلى نحو مثير للخيبة، لا تستطيع اللاموضعية ان تكون اللجام لنشأة نظام اتصالات آني. والمحاولات لاستخدام دوران الجسيمات لإرسال رسائل عبر مسافات كبيرة ربما يستعمل فيها اتجاه واحد من الدوران للشفرة 0 وبالاتجاه الآخر 1. وعلى كل حال، لمعرفة انك ارسلت 0 أو 1 تحتاج للتأكد من دوران الجسيمة. ولكن هذا التأكد يقتل التراكب؛ وهو اساسي للفعل الآني. وإذا استعملت رسالة بدون نظرة اولى، فانك ستكون متأكداً من ارسال 50% للشفرة 1 وبمستوى اللادقة وهي مدهشة لأي رسالة ذات معنى.

وبالرغم من التأثير الآني فإنه سمة أساسية لكوننا، فنجد الطبيعة تعمل بالضبط ما هو مطلوب لجعله غير صالح لإرسال معلومة حقيقية. وهذا ما يسمح لحاجز سرعة الصوت أن يكسر بدون كسره فعلياً. حيث تعطي الطبيعة بيد وتأخذ بقسوة باليد الأخرى.

الرواق البعيد

بشكل قابل للجدل، الجهد السادس المستعمل في التشابك يرسل الوصف الكامل للهدف إلى مكان بعيد جداً بحيث إن الماكينة الذكية الملائمة لذلك في النهاية الأخرى تستطيع أن تعطي نسخة تامة. وهذا بالتأكيد هو وصفة لناقل *رحلة النجم*، والتي تبتسم لأعضاء الطاقم ذهاباً واياباً بين الكوكب والسفينة.

ان تقنية بناء مشروع صلب ومجرد من المعلومة يمكن وصفه هي بالتأكيد قرارات مجردة وخارج الامكانيات. ولكن فعلياً نجد ان فكرة انشاء نسخة عن المشروع تؤسس لمكان بعيد هي أساسية أكثر

مـــن هذه. وطبقاً لمبدأ اللادقة لهايزنبرك، هناك استحالة لوصف تام للهـــدف، ما يعين موقع كل الذرات، والإلكترونات في تلك الذرات، وهكـــذا. وبدون هذه المعرفة كيف يمكن للنسخة التي يمكن تجميعها ان تكون مضبوطة؟

ان التـــشابك القابـــل للملاحظـــة يوفر الطريق لذلك. والسبب ان الجـــسيمات المتـــشابكة تسلك سلوك الكيان المستقل الفردي. إنها تعرف بعضها بسرية تامة.

لـــنقل ان لدينا جسيمة P ونريد عمل نسخة منها *P. وللقيام بذلك فإنه من الضروري معرفة صفات P. وطبقاً لمبدأ اللادقة إذا قمنا بقياس صـــفة لـــــ P بالتحديد – موضعه على سبيل المثال – فحتماً سنفقد كل المعلومات عن الصفات الأخرى مثل سرعته. ومع ذلك فإن حدود هذه الاعاقة يمكن احاطتها باستعمال مبدع للتشابك.

ولـــنأخذ جسيمة أخرى A، وهي أصغر من P و*P. فالشيء الهام هو أن A و*P هما زوج متشابك. والآن صنع تشابك A وP معاً مقياساً للـــزوج. وهـــذا ســـوف يخبرنا عن بعض الصفات لـــ P. طبقاً لمبدأ اللادقة.

فالقياس حتماً يتضمن فقدان معرفة بعض الصفات لـــ P.

ولكـــن كـــل هذا ليس مفقوداً. فلأن *P تشابك مع A فلقد احتفظ بالمعرفة حول A. ولأن A تشابك مع P، فإن A تحافظ على معرفة P. وهذا يعني انه على الرغم ان P ليس على توافق مع *P، لكن P يعرف اســـراره. عـــلاوة علـــى ذلـــك، عندما تؤخذ القياسات لـــ A وP معاً والمعلومات حول P تبدو مفقودة، ففوراً تتوفر المعلومات لـــ A شريك *P. هذا هو لغز التشابك.

ومسبقاً نحن نعرف الصفات الأخرى لـــ P، التي حصلنا عليها مـــن A، فـــيكون لديـــنا كـــل ما نحتاجه لجعل *P بالضبط مساهماً

مـــع P[3]. وهكـــذا نستغل التشابك لمراوغة القيود المؤرخة من مبدأ اللادقـــة لهايزنبرك. والشيء المدهش هو انه علاوة على اننا نستغل التـــشابك لصنع الجسيمة مع مواصفات مضبوطة لـــ P، فلقد انتقلت لانظارنا تلك المواصفات خلال الاتصالات الشجية للتشابك[4].

نـــسمي هذا المظهر الرواق البعيد، وهو جزء من المظهر المبالغ فـــيه حـــيث تحـــل فقط واحدة من المسائل في صنع ناقل *رحلة النجم*. والباحـــثون بالتأكـــيد يعرفونه. ولكنهم يعرفون شيئاً أو أكثر عن كيفية خطف الاخبار الرئيسية في الجرائد!

فـــي موقع غير منيع، نجد أن ناقل رحلة النجم لا يبالي بموقع كـــل ذرة فـــي جـــسم الإنـــسان ولا ينسخ معلومات مجمّعة عن ذلك الإنـــسان. انهـــا فعلـــياً نقل محض لحجم المعلومة المحتاجة لوصف شـــخص عبر الفضاء. أكثر ببليون مرة يحتاج إلى المعلومات لإعادة بـــناء صـــورة تلفاز ببعدين. والطريق السابق لإرسال المعلومة هو سلـــسلة من ثنائيات *القطع*، نقاط وفواصل. وإذا أرسلت المعلومة في وقت معقول، فيجب أن تبدو النبضات قصيرة. لكن النبضات الأكثر قـــصراً ممكـــنة فقـــط مع ضوء بطاقة عالية جداً. وكما أشار كاتب الخـــيال العلمي أرثر كلارك إن إشعاع النقيب كيرك يستطيع بسهولة أخـــذ المزيد من الطاقة أكثر من تلك الموجودة في مجرة صغيرة من النجوم.

---

(3) إن المعلـــومة حول الجسيم الاصلي P تنتقل بوسائل اعتيادية أقل من سرعة الـــضوء، وهـــي حـــد سرعة الكون. إذاً، حتى لو كان P و*P بعيدين عن بعـــضهما، فـــإن إنشاء *P - النسخة التامة لـــ P - ليس آنياً، بالرغم من حقيقة أن الاتصالات بين الجسيمين المتشابكين A وP آنية.

(4) انه مدهش حقاً - حتى مع التشابك - أنه أكثر ما يمكنك القيام به هو نسخة مـــن الهدف على نفقة تدمير الاصل. ان صنع نسخة والاحتفاظ بالاصل في الوقت نفسه يعتبر مستحيلاً.

الرواق البعيد هو غير موضعي، والنتيجة الأكثر مزاجية للتشابك هـــي التي تعتبر الكون كاملاً. وفي وقت واحد، كل جسيمات الكون لها نفـــس الحالـــة بـــسبب كونها مجتمعة في الحدث الجبار. وبالنتيجة كل الجسيمات في الكون هي في نفس مدى التشابك مع بعضها.

وهناك اخطبوط شبحي لشبكة اتصالات كمية مع الكون، ويربطني بك في آخر قطعة من المادة في المجرة البعيدة المسافة. نحن نعيش في كون تخاطري. ولكن ما يعنيه ذلك للفيزيائيين لم يتضح بعد.

والتـــشابك ربمـــا يـــساعد علـــى شرح السؤال المطروح من قبل النظرية الكمية: من أين يأتي عالم اليوم؟

من أين يأتي عالم اليوم؟

طـــبقاً للنظـــرية الكمية، إن التراكيبات الغريبة للحالات هي ليست ممكـــنة فقط بل مضمونة. ويمكن أن تكون الذرة في أماكن عدة في آن واحـــد أو تعمـــل أشياء عدة في آن واحد. ان التداخل بين الإلكترونات يقـــود مباشـــرة لعدد من الظواهر الشاذة في العالم المجهري. لكن لماذا ذلـــك، فهـــناك عدد كبير من الذرات تتصادم مع بعضها لتشكل أهدافاً يومية، وهذه الأهداف لا تظهر سلوكاً كمياً؟ فمثلاً، الأشجار لا تتصرف كمـــا لو أنها في مكانين بآن واحد. وليس هناك حيوان يتصرف كما لو أن هناك علاقة بين الضفدعة والزرافة.

المحاولـــة الأولى لشرح اللغز كانت في كوبنهاغن عام 1920 من قبل رائد الكم نيلز بور. ان تفسيرات كوبنهاغن اثرت على تقسيم الكون إلى مجالين منضبطين بقوانين مختلفة. فعلى أحد الجوانب، هناك مجال صـــغير جداً ضبط بالنظرية الكمية، وعلى الجانب الآخر ضبط المجال الأكبر بقوانين عادية أو تقليدية. وطبقاً لتفسيرات كوبنهاغن فإن الهدف

الـــذري مـــثل الذرة يتفاعل مع الهدف التقليدي والذي دفع بقوة لايقاف التـــراكب الانفصامي ويبدأ سلوكاً محسوساً. والهدف التقليدي ممكن ان يكون جهاز كشاف أو حتى بشراً.

لكن ما هو بالضبط عمل الهدف التقليدي لايقاف الهدف الكمي عن كـــونه كمـــياً؟ والأكثر أهمية مما يتألف الهدف التقليدي؟ بعد كل شيء، العين هي تشكيلة كبيرة من الذرات، والتي تطيع بشكل انفرادي نظرية الكم. يتحول هذا ليصبح آخر مدينة أشيل لتفسيرات كوبنهاغن، وتعليلها دائمـــاً يظهر على ما يبدو تفسيراً غير مقنع لسؤال: من أين يأتي عالم اليوم؟

ان تفـــسيرات كوبـــنهاغن قـــسمت الكون، اختيارياً إلى مجالين، احـــدهما محكوم من قبل النظرية الكمية وهي انهزامية جداً. وإذا كانت النظرية الكمية هي وصفاً أساسياً للواقع، فبالتأكيد يجب تطبيقها في كل مكـــان، فـــي العالم الذري والعالم اليومي. وفكرة انها نظرية كونية هي أشبه بقشرة الجوز، كما يعتقد ذلك فيزيائيو اليوم.

لقـــد وجـــدت حيث لا نلحظ النظام الكمي مباشرة، بل فقط نلحظ تأثيرها على محيطها. وهذه ربما تكون جهاز قياس، أو عيناً بشرية، أو الكـــون عمـــوماً. فمثلاً الضوء القادم من مصدر ما يصدم قرنية العين ويحـــدث الانطـــباع هـــناك. فما يعرفه المراقب غير منفصل عما هو المراقب عليه. والآن إذا طبقت النظرية الكمية في أي مكان، يكون لدينا مشروع كمي مراقب أو مسجل كمشروع كمي آخر. والسؤال المركزي والذري الذي من الممكن إعادة صياغته قد يساعدنا على الاجابة. لماذا الحـــالات الانفصامية الغريبة تفشل في التأثير فيما بينها أو تتشابك مع المحيط، بينما مكان واحد اليوم يعمل في وقت واحد؟

فـــإذا كانت الجسيمة الذرية الفرعية ذات السرعة العالية تدور في الهـــواء فإنهـــا تـــضرب الإلكترونات من أي ذرات تمر بالقرب منها.

وتخـيل أنـه مـن الممكن رؤية رواق بطول 10سم. ولنقل في مسافة 10ســم الجسيمة لها نسبة 50% للتفاعل مع إلكترون واحد، تخرجه من ذرته الام.

والجـسيمة اما ان تضرب الإلكترون أو لا تضربه. ولكن بما أن اصــطدام الإلكترون هو حدث كمي فهناك احتمالية أخرى؛ أي تراكب الحدثـين. فالجسيمة تضرب الإلكترون ولا تضربه! والسؤال هنا: لماذا يتـشابك هذا الحدث مع المحيط ومتى، وهل يترك انطباعاً يتعذر محو أثـره؟ والحـظ يلعـب دوره، فمن الممكن رؤية حدث قذف الإلكترون بجهاز بارع عرف بغرفة الغيمة.

فالغـيوم تتـشكل في الهواء عندما تسبب الحرارة تكثيف قطرات الماء من بخار الماء. لكن هذه العملية تحدث بسرعة فقط إذا كانت هناك أشـياء مثل جزيئات الغبار في الهواء تعمل كبذور حول قطرات الماء والتـي يمكـن أن تنمو. والآن هذه البذرة – وهي المفتاح لعمل غرفة الغيمة – لا تحتاج لتكون أكبر من حبة الغبار. وبالحقيقة تحتاج فقط إلى ذرة واحدة فاقدة لإلكترون واحد يسمى الأيون.

ان غـرفة الغيمة هي صندوق مليء ببخار الماء ومزود بنافذة في أحد جوانبه للنظر فيه. وبشكل حاسم، إن بخار الماء نقي جداً، ولذلك لا يوجد بذور عليه تسمح للبخار بأن يتكثف. والبخار يكون في حالة يائسة لتـشكيل قطرات، ولكنه خائب الأمل لعدم وجود بذور. ثم تدخل جسيمة ذريـة عالـية السرعة، حيث تصدم إلكتروناً خارج الذرة، وتنمو قطرة المـاء على الفور حول الأيون. ان القطرة صغيرة لكن كبيرة بما يكفي لرؤيتها من نافذة غرفة الغيمة إذا أضيئت تماماً.

إذاً مـا الذي يمكن أن تراه من خلال نافذة غرفة الغيمة؟ الجواب هو بالتأكيد أحد الاحتمالين، إما قطرة ماء مفردة أو لا يوجد قطرة ماء. ولا ترى مطلقاً تراكب كلتا القطرتين؛ قطرة شبحية يتأرجح نصفها في

الوجـــود ونـــصفها الآخر خارج الوجود. والسؤال هو، ماذا يحدث في غرفة الغيمة لمنع القطرة من تسجيل التراكب؟

خــذ الحدث حيث تتشكل قطرة الماء. تكون قد أُطلقت عليها بذرة واحـــدة متأينة. ونفس الذرة موجودة في الحدث حيث لا قطرة متواجدة. انها فقط لم تتأين، ولهذا لا يوجد قطرة مياه تتشكل حولها. لنفترض ان الــذرة قــد صــبغت باللون الأحمر في كلتا الحالتين لجعلها تبرز (لا تستطيع حقيقةً صبغ ذرة!).

والآن فـــي حادثـــة قطرة تتكون، ركز أكثر على ذرة بقرب ذرة حمـــراء. المـــاء اكـــثف مـــن بخار الماء والذرات أقرب من بعضها. وبالنتـــيجة، الـــذرة أقرب إلى الذرة الحمراء من الحدث حيث لا تتشكل قطـــرة الماء. ولهذا السبب فإن احتمالية الموجة تمثل الذرة في الحدث الأول فقـــط وتتداخل جزئياً مع احتمالية الموجة لنفس الذرة في الحدث الثاني. وهذه الأمواج تمثل نصف تداخل.

أمـــا الآن فخـــذ ذرة ثانية في الحدث الأول، انها تكون أقرب في الحالـــة الثانـــية مـــن الحالة الأولى. ومرة أخرى فإن أمواج الاحتمالية ستكون نصف متداخلة. وإذا اعتبرنا ان احتمالية الموجة تمثل الذرتين معاً فإنها تتداخل فقط بمقدار الربع مع الحالة الثانية حيث ½ × ½ = ¼.

انظـــر إلى أين هو ذاهب؟ قل إن قطرة الماء تحتوي على ملايين الذرات، أي ما يكافئ قطرة صغيرة جداً. وما هو مقدار احتمالية الموجة الممـــثلة لملايـــين الذرات في الحالة الأولى تتداخل مع احتمالية الموجة الممثلة لملايين الذرات في الحالة الثانية؟ الجواب هو ½ × ½ × ½ × ½ × .... ملايـــين الاضعاف. هذا عدد صغير مميز. وسيكون اساساً صفراً متكاملاً.

لكـــن إذا كانـــت الموجـــتان لا تتـــراكبان على الإطلاق، فكيف تستطيعان التداخل؟ والجواب هو، بالتأكيد لا تتداخلان. التداخل موجود

عند جذور كل الظواهر الكمية. فإذا كان التداخل بين الحدثين مستحيلاً، فــنحن نــرى الحدث الأول أو الثاني ولكن لا يختلط تأثير أحدهما مع الثاني، وهذا أساس التكميم.

يُقال عن احتمالية أمواج لا تتراكب ولا تستطيع التداخل أنها فقدت التناسق أو تشتت. والتشتت هو السبب النهائي للحادثة الكمية في المحيط المؤلف من ذرات وهي ليست كمية. ففي حالة غرفة الغيمة، المحيط هو ملايــين الــذرات حول الذرة المتأينة أو غير المتأينة. وعموماً فالمحيط مؤلف من عدد لا يحصى من كوادرات من الذرات في الكون. والتشتت هــو مؤثر ضخم في تدمير أي تراكب بين الموجات المحتملة للأحداث والمتشابكة مع المحيط. وبما انها الطريقة الوحيدة التي نستطيع اختبارها فيها فنحن لا نستطيع رؤية السلوك الكمي مباشرةً.



6

التطابق وجذور التنوع

كيف ينشأ التنوع المذهل في عالم اليوم
من حقيقة كونك لا تستطيع وشم الإلكترون

استيقظت مبكراً صباحاً وكانت كل امتعتي قد سرقت فاستبدلتها باخرى مشابهة لها بالضبط.

ستيفن رايت

أتـيا مـن مكـان واسـع وبعيد ليروه، إنه النهر في أعلى التلة. ليمارسوا كما اعتادوا في الماضي رياضة صيد الاسماك، متسلقين عبر البـيوت القريبة، قبل التعريج إلى جانب التلة حيث تنتشر الخرفان عند قمـة الـصخور المطلة على المدينة. فأجفلوا النوارس المتمايلة هناك. ركـض الأطفال المتحمسون بجانب النهر. وعلى طاولة الرحلة وعلى طول أسفل النهر يجلس السواح للتمعن في اعجوبة الطبيعة.

وبالتأكـيد لا يوجد سائل يتغلب على الجاذبية ويصعد أعلى التلة؟ والملاحـظ هـنا، أيضاً نتيجة أخرى للنظرية الكمية. وهي ان الذرات ومثـيلاتها يمكن أن تعمل أشياء مستحيلة قبل ان تقوم بشيء ما. فمثلاً يمكـن أن تكـون في مكانين أو أكثر في آن واحد، وتخترق الحواجز

المنــيعة، وتعــرف كل شيء عن الذرات الأخرى حتى على الجوانب المخــتلفة للكون. وكذلك فهي غير قابلة لتوقع أعمالها، فهي تقوم بأشياء بدون أسباب على الإطلاق؛ وربما الأكثر دهشة وتهيجاً لكل سماتها.

كــل هــذه الظواهــر تــصل نهائــياً إلى صفة الموجة الجسيمية للإلكتـرونات والفوتونات وما شابههما. لكن الطبيعة الغريبة المشتركة للأهداف المجهرية هي ليست الشيء الوحيد الذي يجعلها مختلفة جذرياً عن أهداف اليوم. فهناك شيء آخر: هو عدم القابلية على التمييز. فكل إلكتــرون مماثــل لإلكتــرون آخــر، وكذلك كل فوتون مماثل لنظيره وهكذا[1].

بعد اللمحة الأولى لا تبدو هذه صفة قابلة للملاحظة. لكن فكّر في الأهـداف فــي عالم اليوم. ان سيارتين بنفس اللون والموديل تظهران بــنفس الــوقت هما في الحقيقة ليستا متماثلتين. فالتحري الدقيق يظهر انهمــا تختلفان قليلاً في انتظام صبغتيهما، وفي ضغط هواء عجلاتهما، وفي آلاف الصفات الصغيرة الأخرى.

وهذا يتناقض مع عالم الأشياء الصغيرة. فالجسيمات المجهرية لا يمكــن أن تخدش أو تميز بأية طريقة. فلا تستطيع وشم الإلكترون. انه غير قابل للتمييز بكل ما في الكلمة من معنى[2]. ونفس الشيء يقال عن الفوتــون وكــل مواطنــي العالم المجهري. ان عدم قابلية التمييز هي صحيحة بعض الشيء تحت الشمس. ونتائجها جديرة بالملاحظة بالنسبة

---

(1) وبمــا أن الفوتــونات تأتي باطوال موجية مختلفة، فنحن بالتأكيد نتكلم عن الفوتونات بنفس الطول الموجي المماثل للآخر.

(2) جــون ويلير وريتشارد فينمان قدما مقترحاً هاماً حول لماذا الإلكترونات لا يمكن تمييزها تماماً، والسبب ان هناك إلكتروناً واحداً في الكون! انه يتموج باتجــاه الامام وباتجاه الخلف أشبه بالغزل يتحرك إلى الأمام والخلف خلال عملــية النسج. وتشاهد العديد من الأماكن عندما يتحرك الغزل في صناعة النسيج وبالخطأ ينسب إلى الإلكترون المنفصل.

لكلا العالمين المجهري واليومي. ومن العدل ان نقول إنها السبب في أن العالم الذي نعيش فيه ممكناً.

أشياء لا يمكن لأجزاء منها ان تتداخل

عودة إلى السلوك الغريب للعالم المجهري، مثل قابلية الذرة لتكون في أماكن عديدة في آن واحد، فإنها تتقدم للتداخل. ففي تجربة الشق المزدوج يحدث التداخل عندما تمر الجسيمة الموافقة للموجة خلال الشق الايسر وتلك الأخرى تمر خلال الشق الايمن لتنتجا نموذجاً مميزاً متناوباً بين خطوط سوداء وبيضاء على الشاشة الثانية.

ولنقل انك نظّمت وسائل لتعيين أي شق يمكن للجسيمة أن تمر من خلاله - لتمكنك من التمييز بين شيئين متناوبين - فإن خطوط التداخل تختفي بسبب التشتت. والتداخل يحدث فقط إذا كان الشيئان المتناوبان غير قابلين للتمييز، وفي هذه الحالة فالجسيمة تمر خلال أحد الشقين، والأخرى تمر عبر الشق الآخر.

وفي حالة تجربة الشق المزدوج، برز الشيئان المتناوبان غير قابلين للتمييز ما دام لا أحد يشاهد ذلك. لكن الجسيمات المتماثلة مثل الإلكترونات تزيد احتمالية انواع جديدة كاملة من الأشياء غير القابلة للرؤية.

فكر بالمراهق الذي يخطط للذهاب إلى النادي مع صديقته التي لديها أخت توأم مماثلة لها. ومن غير أن يعرف، تقرر صديقته البقاء في المنزل لمشاهدة التلفاز وترسل توأمها بدلاً عنها. ولأن البنتين تبدوان متماثلتين بالنسبة للمراهق (علاوة على انه لا يوجد تماثل في المستوى المجهري)، فالحدثان - الذهاب للنادي مع صديقته وذهابه إلى هناك مع أخت صديقته - غير قابلين للتمييز.

إن الأحـــداث التي تشبه هذا الحدث والتي هي ببساطة غير قابلة للتمييز بسبب كونها تتضمن أشياء غير قابلة للتمييز ظاهرياً ليس لديها نـــتائج جديـــة فـــي العالم المترامي الاطراف (كجزء من السماح لبنتين توأمين أن تركضا بشكل دائري حول أصدقائهما). وعلى كل حال، ففي العـــالم المجهـــري، هـــناك نتائج معمقة. لماذا؟ لأن الأحداث غير قابلة للتمييز – ولأي سبب كان – قادرة على التداخل مع بعضها.

تصادم الأشياء المتماثلة

خذ نواتين ذريتين تتصادمان. ان أي اصطدام مثل هذا التصادم – وهـــذه النقطة المحددة يجب أن تأخذ على محمل الجد – يمكن أن يُرى مـــن وجهة نظر حيث تطير النواتان في اتجاهات متعاكسة وتتضاربان، وبعدئـــذٍ تطيـــران بالاتجاهـــات المتضادة. وعموماً الاتجاهات المتقابلة والمتنافرة ليست هي نفسها. وفكر في وجه الساعة. إذا طارت النواتان مفترقتين في نقطة تصادم عند الساعة 9 و3 فربما تطيران مفترقتين بعد تـــصادمهما الساعة 4 و10 أو الساعة 1 و7. أو أي زوج من الاتجاهات، أطول من الاتجاهات التي تتعاكسان فيها.

والـــباحث التجريبـــي يـــستطيع تحديد اتجاه نواتين ترتدان بتثبيت كشافات في الاتجاهات المتضادة لوجه الساعة الافتراضية وعندئذٍ تحريكها حول الاطار معاً. ولنقل ان الكشافات وضعت عند الساعة 4 و10. ففي هـــذه الحالـــة، هـــناك طـــريقان محتملان يمكن للنواتين أن تلتقيا فيهما الكـــشافات. فالنواتان تضربان بعضهما البعض مع لمحة اشراقة، ولهذا فالأولـــى تأتي من الساعة 9 وتضرب الكشاف عند الساعة 4 والأخرى تأتي من الساعة 3 وتضرب الكشاف عند الساعة 10. أو ان تضربا من جهـــة الـــرأس، لهذا فالأولى تأتي من الساعة 9 وترجع للخلف باتجاه الطريق الذي سلكته وتضرب الكشاف عند الساعة 10، والأخرى تأتي

من الساعة 3 مرتدة للخلف نحو الطريق الذي سلكته وتضرب الكشاف عند الساعة 4.

والاتجاهـات للـساعة 10 و4 ليـست اتجاهات محددة. ومتى ما وضـع كـشافان فهناك طريقان متناوبان حيث يمكن للنواتين أن تصلا إليهما. ويسمى هذان الحدثان بـ A وB.

ومـاذا يحـدث إذا كانت النواتان مختلفتين؟ فلنقل ان الأولى التي تطيـر عـند الساعة 9 هي نواة ذرة الكربون والأخرى التي تطير عند الـساعة 3 هـي نواة ذرة الهيليوم. حسناً، ففي هذه الحالة، يمكن دوماً التمييـز بـين الحدثين A وB. إذا التقطت نواة الكربون بالكشاف عند الـساعة 10، فمـن الواضح بأن الحدث A قد حدث، وإذا التقطت عند الساعة 4 فالحدث B قد وقع.

ماذا يحدث إذا كانت النواتان متشابهتين؟ فلنقل إنهما نواتا ذرة الهيلـيوم؟ في هذه الحالة يستحيل ان نميز بين الحدثين A وB. فنواة ذرة الهيلـيوم التي التقطت بالكشاف في الاتجاه 10 يمكن أن تمسك هـناك فـي أحـد الاتجاهين، ونفس الشيء يقال لنواة الهيليوم التي الـتقطت بالاتجـاه 4. فالحالـتان A وB قابلـتان للتمييز. وإذا كان الحدثان في العالم المجهري قابلين للتمييز، فالأمواج المصاحبة لهما تتداخل.

ففـي تـصادم النواتـين، يصنع التداخل فرقاً هائلاً، فيمكن مثلاً للموجتين المشتركتين مع حادثي التصادم غير القابلين للتمييز ان تتداخلا بشكل هدام، أو تلغي إحداهما الأخرى نحو الساعة 10 و4. فإن اخبرت الكـشافات انـه لا نـواة هناك، فلا يهم كم من الوقت يصرف لاعادة التجـربة. وكـذلك يمكـن للموجتـين ان تتداخلا بشكل بنّاء، أو تقوي احـداهما الأخـرى في حدود الساعة 10 و4؛ وفي هذه الحالة ستلتقط كشافات عدداً غير طبيعي من النوى.

عموما وبسبب التداخل، سيكون هناك بالتأكيد اتجاهات إلى الخارج عـند الأمــواج المــتوافقة مع الحدثين A وB اللذين يلتقيان احدهما مع الآخر، حيث تقوي الموجات بعضها البعض. وهكذا إذا كررت التجربة آلاف المرات والتقطت النوى المرتدة بالكشاف حول حافة وجه الساعة الخيالـــي، فإن الكشاف سيلاحظ اختلافاً كبيراً في عدد النوى الواصلة. فبعض الكشافات ستلتقط الكثير من النوى، والبعض الآخر لن تلتقط شيئاً على الإطلاق.

لكن هذا اختلاف مثير عندما تكون النوى مختلفة. عندئذٍ لا يكون هــناك تــداخل، والكــشافات ستلتقط النوى المرتدة في كل الاتجاهات. وسوف لا يكون هناك مكان حول وجه الساعة عندما لا ترى النوى.

هــذا هــو الاختلاف البارز بين نتائج التجربة عندما تكون النوى متشابهة وحين تكون غير متشابهة بسبب الفرق في كتل نويات الكربون والهيليوم. وبالرغم من تأثير هذا الاختلاف الصغير، فإنه يكون صحيحاً سواء كان تصادم الحدثين A وB قابلاً أو غير قابل للتمييز.

فـــاذا حدث هذا النوع في العالم الحقيقي، ففكر ماذا يعني هذا. ان كرتي لعبة البولنغ الحمراء والزرقاء يتكرر تصادمهما معاً وترتدان في كل الاتجاهات المحتملة.

لكــن هــناك شــيء ســيتغير بمجرد صبغ الكرة الحمراء باللون الازرق فــتكون الكــرتان غيــر قابلتــين للتمييز. وفجأة سيكون هناك اتجاهـــات عند ارتداد الكرتين ببعد أكبر منه حين كانتا ملونتين بالاحمر والازرق وفي اتجاهات حتى قبل الارتداد.

هــذه الحقــيقة تحدث بوجود جسيمات متماثلة في العالم المجهري والتــي تــتداخل مع بعضها البعض، وتبدو أقل بكثير من الخصوصية الكمية. إنه السبب لوجود 92 نوعاً مختلفاً من الذرات في الطبيعة وليس نــوعاً واحــداً. وباختصار هو المسؤول عن كبر العالم الذي نحيا فيه

وتــنوّعه. افهمتم لماذا – على كل حال – يتطلب هذا ادراكاً حسياً رقيقاً جداً لعملية تصادم الجسيمات المتماثلة.

أسرتان من الجسيمات

لنتكلم عن حالة تنوع النوى – نواة الكربون ونواة الهيدروجين – ونأخذ بعين الاعتبار مجدداً حادثي التصادم الممكنين. ففي الحادث الأول تضرب الأخرى مع لمحة وميضية، وفي الثاني تتضاربان رأساً برأس، وتــرتدان نحو الخلف لمعظم الطريق الذي سلكتاه. ما يعنيه هذا هو – بالنــسبة للــنواة التي جاءت من الساعة 9 – أن هناك موجة مماثلة لها ذهبت عند الساعة 4، وموجة أخرى مماثلة لها ذهبت عند الساعة 10.

مفــتاح الفكــرة هنا هو ان احتمالية الحدث ليست متعلقة بارتفاع المــوجة المــشاركة مع ذلك الحدث بل مع مربع ارتفاع تلك الموجة. فاحتمالــية الحــدث 4 هي مربع ارتفاع الموجة بالاتجاه 4، واحتمالية الحــدث 10 هي مربع ارتفاع الموجة بالاتجاه 10. فهنا يكون احساس ضعيف قادماً.

ولــنقل ان موجة النواة التي تطير خارجاً عند 10، تبدي رد فعل نتــيجة التصادم، بحيث يصبح منخفضها مرتفعاً والعكس بالعكس. فهل هــناك أي فرق لاحتمالية الحدث؟ لنجيب على ذلك، خذ بعين الاعتبار مــوجة ماء؛ سلسلة متناوبة من الارتفاعات والمنخفضات. وفكّر بمعدل مستوى الماء والمطابق لارتفاعٍ مساوٍ للصفر، ولذا فإن ارتفاع القمة هو عدد ايجابي وليكن (+1)، وارتفاع المنخفض هو عدد سلبي يساوي (−1). والآن لا يوجد فرق عندما تربع ارتفاع القمة أو ارتفاع المنخفض بحيث إن (1×1=1)، (−1×−1=+1). والنتيجة هي أن رد فعل احتمالية الموجة المشاركة مع النوى المرتدة لا يختلف عن احتمالية الحدث.

لكن هل هناك أي سبب لنعتقد ان موجة واحدة ربما لها رد فعل؟ ان التصادمين عند 10 و4 هما حدثان مختلفان. ففي الأول يتغير مسار النواة بصعوبة، بينما في الثاني يتغير مسار النواة بعنف نحو نفسه. انه على الأقل مقبول، ان موجة 10 ربما تكون رد فعل.

وإن كـــون بعـــض الأشياء رد فعل لا يعني أنها حدثت فعلاً. ففي هذه الحالة إن لدى الطبيعة احتمالين متوفرين: تستطيع ان تكون رد فعل مـــوجة لحدث تصادم واحد، أو يمكن أن تتركها لوحدها. وتجعلها تفيد نفسها في كلا الاحتمالين.

لكـــن كيف لنا ان نعرف امكانية احتمالية الموجة التي يحصل لها رد فعـــل؟ فالشيء الوحيد الذي يمكن أن يقيسه التجريبي هو عدد النوى الملـــتقطة بالكـــشاف، والمعتمد على احتمالية حدوث التصادم. لكن هذا يحدث بمربع ارتفاع الموجة، وهو نفس الشيء فيما إذا ابدت الموجة رد فعل ام لا.

انهـــا تُظهر فعلياً حدوث احتمالية الموجة في التصادم المخفي عن الانظار. وإذا كانت الجسيمات المتصادمة مختلفة، فهذا بالتأكيد صحيحٌ. لكن وبشكل حاسم، انه ليس كذلك إذا كانت الجسيمات متماثلة. والسبب ان الأمـــواج المرافقة للأحداث غير قابلة للتمييز، وتتداخل مع بعضها. وعـــند الـــتداخل فمـــن المهـــم ان يكون لدى الموجة رد فعل أولاً قبل انـــدماجها مع الأخرى. وهذا يعني الفرق بين الارتفاعات والمنخفضات المتطابقة أو غير المتطابقة وبين الأمواج التي تقوي بعضها البعض أو تلغي بعضها.

فماذا يحدث بعد تصادم الجسيمات المتماثلة؟ ان هذا شيء غريب. بالنـــسبة لبعض الجسيمات - كالبروتونات مثلاً - فالفوتونات متشابهة مـــثل نـــوى ذرة الهيليوم المتماثلة. والأمواج الموافقة لحادثي التصادم المتناوبـــين تـــتداخل مع بعضها طبيعياً. وبالنسبة للجسيمات الأخرى -

مـــثل الإلكتـــرونات - فالأشياء مختلفة كلياً. والأمواج الموافقة لحادثي التـــصادم المتناوبين تتداخل، ولكن فقط بعد ان يكون هناك رد فعل لكل واحد.

ان أحجـــار مبنـــى الطبـــيعة مقسمة إلى أسرتين. فمن جهة هناك جـــسيمات لهـــا أمـــواج تتداخل مع بعضها بالطريقة الطبيعية، وهي ما يعـــرف بالـــبوزون، الـــذي يحتوي على الفوتون والغرافيتون (الحامل الافتراضي لقوة الجاذبية). ومن جهة أخرى، هناك ما يعرف بالفرميون الذي يحتوي على الإلكترونات والنيوترونات والميونات.

ومهما كانت الجسيمات، بوزون أو فرميون - فيما إذا انغمست أو لا فـــي ردود فعـــل المـــوجة - فإنهـــا تعـــتمد على الدوران. ولنتذكّر الجسيمات التي لها أكثر من دوران من تلك التي لها دوران أسرع حول محـــورها (عـــلاوة علـــى ان جسيمات العالم الكمي المدهش التي لديها دوران لا تـــدور فعلـــياً!). حسناً هذا ما يجعلها مقادير غير مرئية من الـــدوران؛ أي فقـــط مـــا يشبه مقداراً غير مرئي لكل شيء في العالم المجهـــري. ولأسباب تاريخية فإن كم الدوران هو ½ وحدة (لا يهم ما تعني الوحدة) والبوزون له عدد صحيح من الدوران، 0 وحدة، 1 وحدة، 2 وحـــدة وهكـــذا. والفـــرميون لـــه نصف عدد صحيح من الدوران، ½ وحدة، $^{3}/_{2}$ وحدة، $^{5}/_{2}$ وحدة وهكذا.

إذاً، لمـــاذا الجـــسيمات التي لها نصف عدد صحيح من الدوران تـــنغمس فـــي رد فعل الموجة، بينما الجسيمات ذات العدد الصحيح من الـــدوران لـــيس لها نفس الصفة؟ هذا بالتأكيد سؤال جيد جداً. لكن هذا يقـــودنا إلـــى نهاية ما نستطيع بسهولة مواكبته بدون رياضيات مبهمة. صـــحّح ريتشارد فينمان هذا: "يبدو هذا أحد الأماكن القليلة في الفيزياء حـــيث هناك قانون ينص ببساطة ان لا يكون سهل الشرح. من المحتمل أن ذلك يعني أننا لا نملك الدليل الكامل للمبادئ الأساسية المتضمنة".

فيــنمان الذي عمل في القنبلة الذرية ونال جائزة نوبل للفيزياء عــام 1965، كــان أعظــم فيزيائـــي قابل للجدل في مرحلة ما بعد الحــرب. وإذا وجــدت أفكار النظرية الكمية صعبة قليلاً، فانت في شــركة جــيدة جداً. انه من العدل القول إنه وبعد 80 سنة من ولادة النظــرية الكمــية، ما يزال الفيزيائيون ينتظرون رفع الغمامة ليروا بوضــوح مــاذا يحاولون ان يخفوا عن الحقيقة الأساسية. وكما قال فيــنمان بنفــسه: "باعــتقادي أستطيع القول انه لا يوجد شخص يفهم الميكانيك الكمي".

ان اخفــاء لغــز الــدوران تحت السجادة يجعلنا نصل نهائياً إلى مضامين رد فعل الموجة للفيرميونات كالإلكترونات.

وبــدلاً مــن نواتي الهيليوم، فكر بالإلكترونين، كل منهما يصطدم بالآخر، وبعد التصادم فانهما يرتدان بنفس الاتجاه. سمي الإلكترونان A وB، وســمي الاتجاهان 1 و2 (حتى ولو كانا نفس الاتجاه). وبالضبط كمــا فــي حالــة الــنوى المتماثلة فهناك احتمالان غير قابلين للتمييز. فالإلكترون A يمكن أن يرتد في الاتجاه 1 والإلكترون B يمكن أن يرتد فــي الاتجاه 2، أو الإلكترون A يرتد في الاتجاه 2 والإلكترون B يرتد في الاتجاه 1.

وحيث إن الإلكترونات هي فرميونات فالموجة الموافقة لاحتمال واحد سوف ترتد قبل ان تتداخل مع الموجة الموافقة للاحتمال الآخر. وبــشكل حاسم، فالموجتان لكلا الاحتمالين متماثلتان. وبعد كل ذلك، نحــن نتكلم حول جسيمتين متماثلتين تؤديان أشياء متماثلة. لكن إذا اضفت موجتين متماثلتين، واحدة منهما ارتدت، فقمة الأولى ستكون مطابقــة بالــضبط لمنخفض الثانية. وبالتالي تلغي إحداهما الأخرى. وبكلمــات أخرى، احتمالية ارتداد الإلكترونين بنفس الاتجاه تساوي صفراً وهذا مستحيل بتاتاً.

هــذه النتيجة مستبعدة الحدوث. لقد وجد ان الإلكترونين ليسا فقط غيــر ممنوعــين من الارتداد في نفس الاتجاه، بل وممنوعين من القيام بنفس الشيء لفترة. هذا المنع، يعرف بمبدأ الاستثناء لباولي، وذلك بعد ان توصــل الفيزيائـــي النمساوي فولف غانغ باولي إلى السبب النهائي لوجود الاقزام البيضاء.

وبيــنما مــن المــؤكد ان الإلكترون لا يمكن أن يحصر في حجم صغير جداً من الفضاء، فإن هذا لم يشرح بعد لماذا كل الإلكترونات في القزم الأبيض لا تتزاحم مع بعضها في الحجم الصغير من الفضاء. إن مــبدأ الاســتثناء لباولي أعطى الجواب. الإلكترونان لا يمكن أن يكونا بــنفس الحالــة الكمــية. ان الإلكترونين كحالة غير اجتماعية يتجنبان بعضهما البعض مثل الوباء.

وبسبب مبدأ اللادقة لهايزنبرك فهناك صندوق بحجم مصغر، حيث يمكــن للإلكتــرون ان يضغط بواسطة جاذبية القزم الأبيض. على كل حــال، وبــسبب مبدأ الاستثناء لباولي، فإن كل إلكترون يتطلب صندوقاً لنفــسه. وهذان تأثيران يعملان بتناسق، ويعطيان ظاهرياً غازاً ضعيفاً مــن الإلكتــرونات الضرورية *الصلدة* لمقاومة ضغطها من قبل جاذبية القزم الأبيض الهائلة.

فعلياً لا يزال يوجد شيء رقيق هنا. إنّ مبدأ الاستثناء يحول دون قيام عنصرين بالشيء نفسه إذا كانا متشابهين. ولكن الإلكترونات لديها طــريقة لــتكون مختلفة عن بعضها وذلك بحسب دورانها. فالإلكترون يبــرم باتجاه دوران عقارب الساعة، والثاني يبرم باتجاه عكس دوران عقــارب الــساعة[3]. وبــسبب هــذه الصفة لدى الإلكترونات، يسمح لإلكتــرونين ان يحــتلا نفــس الحجم من الفضاء. وربما يكونان غير

(3) الفيــزيائيون يسمون الدوران المتناوب للاثنين برماً علوياً وبرماً سفلياً. لكن هذه فقط صفة تقنية.

اجتماعيــين، ولكنهما ليسا وحيدين تماماً! والاقزام البيضاء هي أهداف يومــية صــلبة. وعلــى كل حال، فمبدأ الاستثناء لباولي لديه أكثر من المــضامين الدنيوية. وخصوصاً انه يشرح لماذا هناك اعداد كثيرة جدا من الذرات ولماذا الكون من حولنا هو مكان معقد ومثير.

لماذا الذرات ليست متشابهة

وبالعــودة إلى ما سبق، فإنه فقط الأمواج الصوتية المحصورة في المــزمار تــستطيع التذبذب بطرق محصورة، وأيضاً الأمواج المرافقة للإلكتــرون المحــصورة بالــذرة تــتذبذب بما يوافق المدار المحتمل للإلكتــرون عند مسافة محددة من النواة المركزية وبطاقة محددة أيضاً. (وبالتأكــيد المــدار هو المكان الأكثر احتمالاً لتحديد إلكترون حيث لا يوجد شيء بالتحديد بنسبة 100% لمسار مؤكد للإلكترون أو أي جسيمة محتملة).

لقــد احصى الفيزيائيون والكيميائيون المدارات. فمعظم المدارات الداخلــية وما تعرف بالحالة الأرضية ترقم بـــ 1، والمدارات المتعاقبة علــى مــسافة ابعد من النواة ترقم 2، 3، 4 وهكذا. ان وجود الاعداد الكمــية - كمــا يقولون - هو مجدداً تأكيد حول كيف أن كل شيء في العــالم المجهــري - بما فيها مدارات الإلكترونات - يأتي في خطوات متعاقبة مع عدم امكانية للقيم الوسطى.

وحــين يقفــز الإلكترون من مدار لآخر أقرب للنواة، تفقد الذرة طاقــة، والتــي تكون بشكل فوتون من الضوء. وطاقة الفوتون مساوية بالــضبط لفــرق الطاقة بين المدارين. والعملية المعكوسة تتضمن ذرة تمــتص فوتــوناً بطاقــة مساوية لفرق الطاقة بين المدارين. وفي هذه الحالة، يقفز الإلكترون من مدار لآخر ابعد عن النواة.

هذه الصورة من الانبعاث والامتصاص للضوء تشرح لماذا تتوافق طاقات الفوتون الخاصة فقط مع ترددات خاصة، تلفظ خارجاً أو تمتص بكـل انواع الذرات. ان الطاقات الخاصة هي فروق طاقة بين مدارات الإلكتـرون. والسبب في وجود عدد محدود من المدارات المسموح بها هو أن هناك عدداً محدداً من مدارات الانتقال.

لكـن الأشـياء لا تـبدو بـسيطة. فموجات الإلكترون يسمح لها بالتذبذب في داخل الذرة وتصبح معقدة جداً باشياء ثلاثية الابعاد. وربما تـتوافق مع الإلكترون الذي لا يجب فقط أن يكون موجوداً على مسافة معيّـنة مـن النواة ولكن يجب أن يكون في بعض الاتجاهات أكثر من اتجاهـات أخرى. فمثلاً إن موجة الإلكترون قد تكون أكبر من القطبين الـشمالي والجنوبي للذرة من دون الاتجاهات الأخرى. والإلكترون في مدار معين يجب أن يتواجد فوق القطبين الشمالي والجنوبي.

وإن وصـف اتجاه بفضاء ثلاثي الأبعاد يتطلب عددين. ففي الكرة الأرضـية ان خطـوط العرض والطول مطلوبة. نفس الشيء يضاف للاعـداد المحـددة مسافاتها من النواة، فموجة الإلكترون ذات الارتفاع والتي تتغير مع الاتجاه تتطلب أكثر من عددين كميين لوصفها. ما يجعل الاعـداد ثلاثة. ولإدراك حقيقة أن مدارات الإلكترون غير متشابهة كلياً أكثـر مـن المدارات المألوفة – مثلاً مدارات الكواكب حول الشمس – تُعطى الاسم الخاص: أفلاك.

والشكل الدقيق لمدارات الإلكترون يجعله هاماً بشكل حاسم لإثبات كيف أن الذرات المختلفة تلتصق معاً لتؤلف جزيئات مثل الماء وأوكسيد الكـربون. والمفتاح هو الإلكترون الاقصى بعداً. كمثال، إن الإلكترون البعـيد في ذرة ما ربما يتشارك مع ذرة أخرى، مكوناً رابطة كيميائية. حيث يلعب الإلكترون الأبعد بالضبط دوراً هاماً. إذن إذا كان الاحتمال الأكبر لتواجده فوق القطب الشمالي أو الجنوبي، فالذرة ستكون بالأساس

مرتبطة مع الذرة الأخرى بقطبيها الشمالي أو الجنوبي.

إن العلـم الذي يهتم بعدد لا يحصى من الطرق حيث الذرات تترابط مـع بعضها هو علم الكيمياء. والذرات هي أحجار لعبة الليغو. وبتجميعها بطـرق مخـتلفة، فإنه من الممكن ان نصنع وردة أو قضيباً من الذهب أو إنساناً. ولكن الطريقة التي تتجمع بها أحجار لعبة الليغو لتكوين تنوع مذهل من الاشياء التي نراها من حولنا محدّدة بواسطة النظرية الكمية.

وبالتأكـيد السبب الملاحظ لوجود عدد كبير من التجمعات لاحجار لعـبة اللـيغو هو ان هناك أكثر من نوع واحد من الأحجار. والطبيعة بالحقـيقة تستعمل 92 حجراً من لعبة الليغو. وهي مرتبة من الهيدروجين، الـذرة الاخف في الطبيعة، إلى اليورانيوم، الاثقل. لكن لماذا هناك عدد كبيـر مـن الـذرات المختلفة؟ لماذا كل الذرات ليست متشابهة؟ ومرة أخرى، فكل شيء يعود للنظرية الكمية.

لماذا الذرات كلها ليست متشابهة

الإلكترونات المنغمسة في مجال كهربائي للنواة تشبه كرات القدم المنغمـسة في وادٍ مبلل بالماء. وعلى احسن ما يكون، يجب أن تجري الكـرات بـسرعة باتجاه أسفل التلة إلى المكان الأكثر استقراراً؛ وهو المدار الداخلي. ولكن إذا كان ذلك ما تقوم به الإلكترونات، فكل الذرات سـتكون تقـريباً بـنفس الحجـم. بشكل أكثر دقة، بما أن الإلكترونات الخارجـية هي التي تحدد كيف تتماسك الذرة، فإن كل الذرات ستترابط بالـضبط بـنفس الطريقة. فالطبيعة لها نوع واحد من حجر لعبة الليغو لكي تلعب به، والعالم هو بالواقع المكان الأكثر غباءً.

والذي ينقذ العالم من كونه المكان الغبي هو مبدأ الاستثناء لباولي. فإذا كانت الإلكترونات بوزونات، فبالتأكيد هذا صحيح حيث ان إلكترونات الذرة

ستتراكم على بعضها البعض في المدار الداخلي. لكن الإلكترونات ليست بوزونات بل فيرميونات؛ والتي تشمئز لكونها مزدحمة مع بعضها.

كيف يحدث ذلك، هناك انواع مختلفة من الذرات لها اعداد مختلفة من الإلكترونات (وبالتأكيد انها متوازنة بعدد متساوٍ من البروتونات في نوياتها). فمثلاً الذرة الاخف - الهيدروجين - لها إلكترون واحد، والاثقل في الطبيعة - اليورانيوم - لها 92 إلكترون. وهنا تبدو النواة غير مهمة. ركّز بدلاً من ذلك على الإلكترون. في البداية، تصوّر ذرة هيدروجين، وبعد ذلك أضف إلكتروناً واحداً في كل مرة.

فالمدار الأول هو الداخلي، وهو الأقرب إلى النواة. وبينما تضاف الإلكترونات، فإنها ستذهب أولاً إلى هذا المدار. وبعد ان يكتمل ولا يعود بإمكانه استيعاب المزيد من الإلكترونات، ستنتقل الإلكترونات إلى المدار اللاحق، الأبعد عن النواة. وبامتلاء المدار، سيمتلئ المدار الذي يليه وهكذا.

كل المدارات الموجودة في مسافات محددة من النواة - مع اعداد كمية مختلفة الاتجاهات - يقال عنها القشرة. والعدد الاقصى للإلكترونات لتتواجد في القشرة الداخلية هو اثنان، إلكترون واحد يبرم مع اتجاه عقارب الساعة والآخر يبرم عكس اتجاه عقارب الساعة. وذرة الهيدروجين لها إلكترون واحد في هذه القشرة. ولذرة الهيليوم إلكترونان في نفس القشرة.

والذرة التي تليهما هي الليثيوم، فلها 3 إلكترونات. بما أنه لا يوجد مكان لأكثر من إلكترونين في المدار الداخلي، فالإلكترون الثالث يبدأ مع قشرة جديدة أبعد عن النواة (مدار جديد).

ان سعة هذه القشرة (المدار) هي ثمانية إلكترونات. وبالنسبة للذرات التي تحتوي على أكثر من عشرة إلكترونات، ستمتلئ هذه القشرة، وبعد ذلك ستبدأ قشرة أخرى أبعد عن النواة بالامتلاء بالإلكترونات.

وحـسب مـبدأ الاستثناء لباولي الذي يمنع أكثر من إلكترونين ان يكونا بنفس المدار – من أن تكون لديهما نفس الاعداد الكمية – فإنه هو الـسبب الـذي يجعـل الذرات مختلفة عن بعضها البعض. وكذلك إنه المسؤول عن صلابة المادة. كما قال ريتشارد فينمان: "انها الحقيقة بأن الإلكتـرونات لا تستطيع ان تعتلي على الأخرى لتصنع طاولات أو أي شيء صلب". وبما أن الأسلوب الذي تسلكه الذرة – أي تماثلها – يعتمد علـى الإلكتـرونات الخارجـية، فالذرات التي لها اعداد متشابهة من الإلكتـرونات فـي قـشراتها الخارجية تميل لأن تسلك الطريق نفسه. فالليثيوم الذي لديه 3 إلكترونات، لديه واحد من إلكتروناته على القشرة الخارجـية. وأيـضاً الـصوديوم لديه 11 إلكتروناً. يترابط الليثيوم مع الصوديوم بأنواع متشابهة من الذرات ولهما صفات متماثلة.

والكثيـر من الفيرميونات تخضع لمبدأ الاستثناء لباولي. فماذا عن البوزونات؟ هذه الجسيمات لا يطبق عليها مبدأ الاستثناء، وتوصف بانها مخـتلفة جـداً، ابـتداءً بالليـزر، ومروراً بالتيارات الكهربائية الدائمة الجريان، وانتهاء بالسوائل التي تجري في أعلى التلة.

لماذا البوزونات تبدو مجتمعة مع مثيلاتها

لنفترض ان جسيمين من البوزونات يطيران في منطقة ضيقة من الفـضاء. احدهما يضرب حاجزاً أثناء مساره ويرتد، والثاني يضرب عقبة ثابـتة ثم يرتد. لا يهم ما هما هذان الجسمان المعيقان ربما يكونان نوى أو أي شـيء آخـر. والـشيء المهم هو الاتجاه الذي ارتدا عنه، وهو نفسه لكلاهمـا. لنـسمِّ الجـسيمين A وB، والاتجاهين اللذين ارتدا فيهما 1 و2 (عـلاوة على أنهما نفس الاتجاه!). فهناك احتمالان: الأول ان الجسيمة A تنتهـي فـي الاتجـاه 1 والجسيمة B تنتهي في الاتجاه 2. والثاني ان A تنتهـي فـي الاتجـاه 2 وB تنتهـي في الاتجاه 1. وبسبب كون A وB

جسيمين انفصاميين في العالم المجهري، فهناك موجة موافقة لـ A تذهب بالاتجـاه 1، وأخرى موافقة لـ B تذهب بالاتجاه 2. وكذلك هناك موجة موافقة لـ A تذهب بالاتجاه 2 وأخرى موافقة لـ B تذهب بالاتجاه 1.

فـإذا كان البوزونان جسيمين مختلفين فلن يكون هناك تداخل فيما بيـنهما. إذاً، فاحتمال ان يلتقط الكشاف الجسيمين المرتدين هو ببساطة مربع ارتفاع الموجة الأولى مضاف لمربع ارتفاع الموجة الثانية، وهكذا فاحـتمال أي شـيء يحدث في العالم المجهري هو دائماً مربع ارتفاع المـوجة المـشاركة للجسيمة. ولذا فإنه يوجد - ويجب أن يؤخذ على محمل الجد - احتمالان، وهما متشابهان تقريباً. لذا فالاحتمال الكلي هو ببساطة ضعف احتمال كل حدث يكون قد حدث منفصلاً.

ولنقل ان الموجات لها ارتفاع 1 لكلتا العمليتين. وهذا يعني إذا ربّعـنا وأضـفنا لنحـصل علـى احـتمال لكلتا العمليتين، فسيكون $(1\times1)+(1\times1)=2$. والآن الاحـتمال 1 توافق 100%، إذا الاحتمال 2 هـو مـضحك وبوضوح. ولنواصل ذلك، فلا يزال من الممكن مقارنة الاحتمالات، وهو ما يقودنا إليه كل هذا.

الآن لـنقل ان البوزونـين هما جسيمان متماثلان. وفي هذه الحالة، الاحتمالان A في الاتجاه 1 وB في الاتجاه 2، وكذلك A في الاتجاه 2 وB فـي الاتجـاه 1 غير قابلين للتمييز. ولأنهما غير قابلين للتمييز، فالأمواج المـشاركة معهما يمكن أن تتداخل مع بعضها البعض. ومجموع ارتفاعهما هو $(1+1)$. والاحتمال بالنسبة لكلتا العمليتين سيكون $(1+1)\times(1+1)=4$.

وهـذا يتـضاعف مـرتين عندما تكون البوزونات غير متماثلة. وبكلمـات أخرى، ان كان البوزونان متماثلين، فارتدادهما بنفس الاتجاه أكبـر بمـرتين ممـا لـو كانا مختلفين. أو لنضعه على طريق آخر، فالبوزون يرتد مرتين بالاتجاه الخاص. إذا ارتد البوزون الآخر بالاتجاه ذاتـه. والـبوزونات الأكثـر هي الأكثر تاثيراً. فإذا كان هناك ن من

البوزونات، فاحتمال أن ترتد جسيمة بنفس الاتجاه هي (ن+1) مرة أكبر منه في حال عدم وجود بوزونات. تكلم عن سلوك الجماعة. فالوجود المجرد للبوزونات الأخرى التي تقوم بأشياء كثيرة يزيد الاحتمال بأن بوزوناً آخر يعمل نفس الشيء. هذه الصفة المميزة تميل لأن تملك تطبيقات عملية هامة كما في انتشار الضوء.

الليزرات والسوائل التي تصعد إلى الأعلى

لاعتبارات بعيدة، كل العمليات تضمنت جسيمات تتصادم وترتد في اتجاه محدد. لكن ذلك ليس مهماً. فالمجادلات التي استعملت تستطيع أن تطبق بالتساوي تماماً لإحداث (صنع) الجسيمات، فمثلاً ان إحداث الفوتونات بالذرات هو انبعاث الضوء.

والفوتونات هي بوزونات، لذا فإن احتمال أن تبعث الذرات فوتوناً بالاتجاه الخاص مع طاقة محددة تزداد بعامل (ن+1) إذا كان هناك مسبقاً عدد ن من الفوتونات تطير بذلك الاتجاه. فكل فوتون جديد ينبعث يزيد فرصة فوتون آخر للانبعاث. وهناك الآلاف بل الملايين من الفوتونات تطير عبر الفضاء معاً، وإن احتمال انبعاث الفوتون جديد وكبير.

وبالطبع النتائج جدلية. فبينما ينتج مصدر الضوء الطبيعي كالشمس خليطاً فوضوياً من الفوتونات بكل الطاقات المختلفة، يولد الليزر تياراً غير قابل للتوقف من الفوتونات تتموج خلال الفضاء في خطوات محكمة. والليزرات على كل حال هي بعيدة عن النتيجة المميزة للبوزونات. فخذ مثلاً سائل الهيليوم المؤلف من ذرات هي عبارة عن بوزونات. هيليوم- 4 - ثاني أكبر ذرة معروفة في الكون - هي أحد المصادر الضوئية لدى الطبيعة[4]. ولقد كان الهيليوم- 4 العنصر

---

(4) هيليوم-4 لها أربع جسيمات في نواتها، بروتونان ونيوترونان. ومن نفس العائلة، إن ذرة هيليوم-3، لها نفس العدد من البروتونات واقل بواحد من النيوترونات.

الوحيد الذي اكتشف على الشمس قبل اكتشافه على الأرض، وله أقل نقطة غليان في كل السوائل (–269) درجة مئوية. وبالحقيقة، انه السائل الوحيد الذي لا يتجمد ليصبح صلباً، وعلى الأقل ليس في ضغط الغلاف الجوي الطبيعي. وكل هذه الأشياء، غير ذات أهمية بجانب سلوك الهيليوم تحت (–271) درجة مئوية. فتحت درجة *لمبدا* سيكون سائلاً محسناً.

عادة، يقاوم السائل أي محاولة لتحريك جزء واحد بالنسبة إلى الآخر. فمثلاً دبس السكر يقاوم عند تحريكه بالملعقة، والماء يقاوم عندما تعوم فيه. والفيزيائيون سموا هذه المقاومة باللزوجة. وبالحقيقة انها احتكاك السائل. لكن بينما استعملنا الاحتكاك بين أجسام صلبة تتحرك اجزاؤها – مثل الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق – فنحن غير متآلفين مع الاحتكاك بين أجزاء من السائل الذي تتحرك اجزاؤه. فإن دبس السكر، وبسبب مقاومته القوية، يقال عنه ان لديه لزوجة عالية، أو أنه لزج جداً.

واللزوجة تظهر نفسها فقط عندما يتحرك جزء واحد من السائل بشكل مختلف عن الآخر. ففي المستوى المجهري للذرات، هذا يعني انه يمكن ضرب بعض ذرات السائل في حالات تختلف عن حالات محتملة بذرات أخرى.

وفي سائل ذي درجة حرارة اعتيادية، تكون الذرات في حالات محتملة عديدة في كل الهزات حولها وبمختلف السرعات. لكن عند انخفاض الحرارة، ستصبح أكثر انانية واقل انفتاحاً. وبالرغم من هذا التأثير، لا تكون كل الذرات بنفس الحالة؛ حتى في درجات الحرارة المنخفضة.

لكن الأشياء تختلف في سائل البوزونات مثل سائل الهيليوم. وتذكر إذا كان هناك عدد ن من البوزونات في حالة خاصة، فاحتمال دخول بوزون آخر الحالة هو (ن+1) أكبر مما لو لم يكن هناك جسيمات أخرى. وفي سائل الهيليوم، هناك ذرات هيليوم لا تحصى، حيث إن ن عددٌ كبيرٌ

جــداً بالحقــيقة. وبالنتيجة يبرد سائل الهيليوم حتى حرارة منخفضة كافية، عندما تحاول كل ذرات الهيليوم فجأة الازدحام بنفس الحالة.

حين تكون كل ذرات الهيليوم في الحالة نفسها، فإنه من المستحيل – أو على الأقل صعب جداً – بالنسبة لجزء واحد من السائل أن يتحرك بشكل مختلف عن جزء آخر. فإذا تحركت بعض الذرات قرب بعضها، يــتوجب علــى كل الذرات أن تتحرك قرب بعضها البعض. وبالنتيجة سائل الهيليوم ليس لديه لزوجة. فيصبح سائلاً محسّناً.

وفــي ســائل الهيليوم المحسّن هناك نوع من الصلابة في حركة الذرات. فإنه من الصعب جداً جعل السائل يعمل أي شيء، والسبب هو أنه إمّا يتوجب عليك أن تجعل كل الذرات تعمل الشيء معاً أو لا تعمل أي شــيء على الإطلاق. فمثلاً، إذا وضعت ماء في دلو وبرمت الدلو حول محوره، فالماء سيبرم مع الدلو. والسبب ان الدلو يُشدّ حول ذرات المــاء، والتي تكون على اتصال مباشر مع جوانب الدلو، والتي بدورها تســحب علــى الذرات الأبعد من الجوانب، وهكذا، حتى يدور الجسم الكلــي للمــاء مع دوران الدلو. وبوضوح ليصل الماء إلى الحالة التي يــدور فــيها مــع الدلو، فإن أجزاءً مختلفة من السائل يجب أن تتحرك بــشكل متناســب مع بعضها البعض. لكن كما اشرنا، هذا صعب جداً بالنــسبة للــسائل المحسّن. فكل الذرات تتحرك معاً أو لا تتحرك على الإطــلاق. وبالنتيجة، إذا وضع سائل الهيليوم في دلو، وبُرم الدلو، فلن يكــون لذلك معنى وهدف حتى لو دار الدلو. بدلاً من ذلك، يبقى سائل الهيليوم المحسّن معانداً؛ ويظل كذلك بينما الدلو يبرم.

ان الحركة التعاونية للذرات في المائع المحسّن لسائل الهيليوم تقود إلى ظواهر مدهشة. فمثلاً، المائع المحسّن يجري خلال فجوات صغيرة مــستحيلة حــيث لا يستطيع سائل آخر القيام بذلك. وهو المائع الوحيد الذي يستطيع الجريان إلى الأعلى.

وللذكر يقاس نسبة إلى الضوء. والهيليوم-3 يميل ليكون اعتيادياً، حـيث يـوجد بـشكل سـائل. والسبب هو ان جزيئات هيليوم-3 هي فرميونات. والمائعية المحسنة هي صفة للبوزونات.

وفعلـياً لـيس كـل هذا صحيحاً. فالعالم المجهري مليء بالظواهر المفاجئة. وفي حالة خاصة، الفرميونات لها سلوك شبيه بسلوك البوزونات!

التيارات الكهربائية التي تجري إلى الابد

إن الحالة الخاصة - عندما تشبه الفيرميونات في سلوكها البوزونات - هـي تـيار كهربائي في المعدن. ولأن الإلكترونات في المدارات الأبعد لـذرات المعدن هي ضعيفة الرابطة، فبالإمكان ان تكسر الرابطة لتتحرر. وإذا سلطت الفولتية بين نهايتي المعدن باستخدام بطارية، فكل الإلكترونات المتحررة والتي لا تحصى ستتموج خلال المادة كتيار كهربائي[5].

والإلكتـرونات هـي بالتأكـيد فيـرميونات. مما يعني انها غير اجتماعـية. وتـصوَّر سـلّماً خشبياً مع درجات موافقة لحالات الطاقة العالـية. فالإلكترونات سوف تملأ المدارات الشبيهة بالعتبات باثنين في وقـت واحـد مـن الأسـفل (تزدحم البوزونات بنجاح على المدارات الـسفلى). إن الحاجـة لفـصل المدار بزوج من الإلكترونات يعني ان إلكترونات المعدن لديها طاقة أعلى من المعدل.

لكن هناك أحداث غريبة تحصل عند تبريد المعدن إلى درجة قرب الصفر المطلق، وهي الحرارة الأكثر انخفاضاً. عادة كل إلكترون يسافر خـلال المعـدن بـشكل مـستقل بالكامل عن بقية الإلكترونات. وبينما

(5) لمـاذا لا نـتحدث عـن المعدن؟ الشرح الكامل يتطلب نظرية كمية، لكن ببساطة الإلكترونات الموصلة والمنزوعة تشكل غيمة مشحونة سالبة تتخلل المعـدن. إن الانجذاب بين هذه الغيمة وأيونات المعدن المنزوعة الإلكترون والمشحونة موجباً هي التي تلصق المعدن مع بعضه البعض.

تـــنخفض درجة الحرارة، فذرات المعدن تتذبذب ببطء أكبر. وبالإضافة إلـــى ان الـــذرات أكبر ضخامة آلاف المرات من الإلكترونات، فالقوة الكهربائية الجذبية بين الإلكترون وذرة المعدن كافية لجر الذرة باتجاهها إذا مـــر قـــربها الإلكترون(6). والذرات المسحوبة بدورها تسحب إلكتروناً آخر. وبهذه الطريقة، يجذب إلكترون واحد إلكتروناً آخر عبر ذرة المعدن.

هذا التأثير يغير بعنف طبيعة جريان التيار عبر المعدن. وبدلاً من كـــونه مـــؤلفاً من إلكترونات مفردة، فإنه يتألف من إلكترونات زوجية تعرف بازواج كوبر. ولكن الإلكترون في كل زوج كوبر يبرم بأسلوب معاكس ويلغي أحده الآخر. ان ازواج كوبر هي بوزونات!

ان زوج كوبـــر شـــيء مـــدهش. والإلكترونان اللذان يكوّنان هذا الزوج ربما لا يكونان قريبين من بعضهما البعض في المعدن. وسيكون مـــن السهل وجود آلاف الإلكترونات بين أحد زوجي الكوبر وشريكه. هـــذا هو تفصيل حاسم، وعلى كل حال، فالمفتاح هنا هو ان زوج كوبر هـــو بوزون. وعند درجة حرارة غاية في الانخفاض للموصلية الفائقة فـــإن كل البوزونات تزدحم في نفس الحالة، وتسلك سلوكاً وكأنه مفرد؛ أي كوحدة لا تقاوم.

ففـــي المعدن الاعتيادي، يقاوم التيار الكهربائي باللافلزات، ذرات شـــائبة تقف في طريق الإلكترونات وتعيق تقدمها خلال المعدن. وبينما بإمكان الذرة الشائبة أن تعيق بسهولة الإلكترون في المعدن الاعتيادي، إلاّ أنه من المستحيل بالنسبة لها أن تعيق زوج كوبر يكون في حلقة مفرغة مع مليارات المليارات من الأزواج الأخرى. ان الذرة الشائبة لا تـــستطيع تغيير مسار الجريان مثلما لا يستطيع الجندي وحده أن يوقـــف تقـــدم جيش العدو. وكما ابتدأنا، فالتيار في الموصل الفائق يجري إلى الأبد.

---

(6) بصراحة، الذرات هي ايونات موجبة، والاسم أُعطي لذرات فقدت إلكترونات.

القسم الثاني

أشياء كبيرة



7

موت المكان والزمان

كيف اكتشفنا ان الضوء هو الأساس الذي اسس عليه الكون، والزمان والمكان قد ازاحا هذا الاساس

عندما يجلس رجل مع بنت جميلة لساعة، تبدو الساعة وكأنها دقيقة. ولكن دعه يجلس على موقد نار لدقيقة، فإنها تبدو أطول من ساعة. هذه هي النسبية!

البرت اينشتاين

انهـا الأكثر مائة متر غرابة بالنسبة لأي شخص يراها. فبينما يجـتاز العداءون حواجز البداية امامهم، ويباعدون خطوات الجري، فإنـه يـبدو للمتفرجين ان العدائين أكثر نحافة. الآن، وهم يندفعون خارج الازدحام، فإنهم يظهرون كنتيجة مسلّم بها، لكن ذلك ليس هو بالـشيء الغريب، ولا بالرمية الطويلة. فإن أذرع العدائين وسيقانهم تتحرك بحركة بطيئة جداً كما لو أنهم يركضون ليس خلال الهواء بل خـلال مادة لزجة. وفي السابق، كان الازدحام بداية لتصفيقة بطيئة. وبعض الناس يمزقون تذاكرهم ويقذفون بها بغضب في الهواء. وفي هـذه النسبة مـن الـتقدم المثير للشجن، فمن الممكن أن يستغرق العدّاءون ساعة ليصلوا إلى عتبة النهاية. وباشمئزاز واحباط، ينهض

المـشاهدون عـن كراسـيهم، ويمشون واحداً تلو الآخر إلى خارج الملعب.

هـذا المشهد يبدو مضحكاً كلياً. لكن من الخطأ ان يكون الأساس تفصيلاً واحداً؛ أي سرعة العدائين. فإذا استطاعوا الجري بسرعة أكبر بعـشرة ملايين مرة، فإنه بالضبط ما سيشاهده كل واحد. وعندما تطير الأهـداف بالماضي بسرعة عالية جداً، فإن المسافة تتقلص بينما الزمن يتباطأ[1]. انها نتيجة حتمية لشيء ما، استحالة مسكها بشعاع ضوئي.

وببساطة ربما تفكر بأن الشيء الوحيد غير القابل للمسك هو الذي يـسافر فـي سرعة غير محددة. واللانهائية، تعرف بانها الرقم الأكبر القابـل للتصور. ومهما يكن الرقم الذي تفكر به، فاللانهائية هي أكبر. وهكـذا إذا كان هناك شيء يسافر بسرعة لانهائية، فمن الواضح انك لا تـستطيع مطلقـاً الحصول عليه جنباً إلى جنب. فإن اللانهائية تمثل حد السرعة الكونية النهائي.

وينـتقل الـضوء بسرعة هائلة – 300,000 كم/ثانية في الفضاء الفارغ – لكن هذه السرعة أبعد بقليل من السرعة اللانهائية. ومع ذلك، لا يمكـن الامساك بشعاع الضوء، ولا يهم كم السرعة التي ينتقل فيها. ففي كوننا، ولأسباب ليس كل شخص يفهمها تماماً، تلعب سرعة الضوء دوراً بالـسرعة النهائـية. انها تمثل حد السرعة الكونية النهائية. واول شخص أدرك هذه الحقيقة المدهشة هو البرت اينشتاين حين كان يبلغ من العمر 16 سنة على أغلب الظن، وسأل نفسه السؤال التالي: ماذا يحدث لشعاع الضوء إذا استطعت الامساك به؟

---

(1) وبـصراحة كبيـرة، كل عداء يظهر انه يدور، لذا فالمتفرجون سيشاهدون جـزءاً من الجانب البعيد لكل منهم؛ أي الجانب المواجه للمدرج. واعتيادياً يكـون مختفياً. هذا التأثير القريب يعرف بالزيغ النسبي، أو البارقة النسبية. على كل حال، انه خلف هدف هذا الكتاب.

ســأل اينشتاين هذا السؤال وأمِل بالاجابة عليه فقط بسبب اكتشاف الفيزيائـــي الاسكتلندي جيمس كليرك ماكسويل. ففي عام 1868، لخص ماكـــسويل كــل الظواهر المعروفة بالكهربائية والمغناطيسية؛ من عمل المحركات الكهربائية بسلوك المغانيط؛ مع مقدار من معادلات رياضية انيقة. المنحة غير المتوقعة لمعادلات ماكسويل كانت نتيجة موجة مؤكدة حتى اليوم، هي الموجة الكهربائية والمغناطيسية.

انتــشرت موجة ماكسويل خلال الفضاء أشبه بانتشار مويجة في بــركة مـــاء، فهـــي ذات سمة ضاربة. وهي تنتقل بسرعة 300,000 كـــم/ثانـــية؛ أي بـــنفس سرعة الضوء في الفضاء الفارغ، وكذلك هي متطابقة جداً معها. وخمن ماكسويل بشكل صحيح بأن موجة الكهربائية والمغناطيـــسية لـــم تكـــونا أكثر من موجة ضوء. ولا أحد – عدا رائد الكهـــربائية مايكـــل فاراداي – لمَّح بشكل طفيف إلى ان الضوء متصل بالكهـــربائية والمغناطيـــسية. ولكـــن ذلك كان قد كتب بشكل مثبت في معادلات ماكسويل؛ أي أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية.

فالمغناطيـــسية هي مجال قوة غير مرئي يصل خارجاً في الفضاء المحـــيط بالمغناطـــيس. ان المجال المغناطيسي لقضيب من المغناطيس علـــى ســـبيل المثال يجذب تقريباً مواد معدنية مثل مساكات الاوراق. وتـــضخم الطبـــيعة كذلك المجال الكهربائي، وهو مجال قوة غير مرئي ممتد في الفضاء المحيط بالجسم المشحون كهربائياً. والمجال الكهربائي للمـــشط البالـــستيكي المفروك بسترة نايلون يمكن أن يجذب قصاصات ورق.

والضوء طبقاً لمعادلات ماكسويل هو موجة تتموج خلال مجالات قـــوى غير مرئية، ويعتبر الأكثر شبهاً بالأمواج خلال الماء. ففي حالة مـــوجة الماء، الشيء الذي يتغير عند مرور الموجة هو مستوى الماء، حـــيث يصعد وينزل ويصعد وينزل. أما في حالة الضوء، فتعتبر تقوية

لمجـــالات القوى المغناطيسية والكهربائية التي تنمو ثم تموت وتنمو ثم تمــوت. (وفـــي الحقيقة إنّ مجالاً واحداً ينمو والبقية تموت أو العكس بالعكس. لكن هذا غير مهم هنا).

لمــاذا الدخــول فـــي التفصيل المثير للموجة الكهرومغناطيسية؟ الجــواب هو لأن هذا التفصيل ضروري لفهم سؤال اينشتاين: ما الذي يحدث لشعاع الضوء إذا استطعت الامساك به؟

لــنقل انــك تقــود سيارة على الطريق السريع، ولحقتها سيارة أخرى تسير بسرعة 100 كم/ساعة. كيف تبدو السيارة الأخرى حين تقترب منها؟ بوضوح انها تظهر متوقفة. وإذا انزلت زجاج السيارة، فانك ربما تستطيع مناداة السائق الآخر رغم ضجيج المحرك. وبنفس الطــريقة بالــضبط، إذا استطعت الامساك بشعاع الضوء، فإنه من المــتوقع أن يبدو جامداً؛ أي أشبه بسلسلة من المويجات المجمدة في بركة.

علـــى كل حال- وهذا هو الشيء الملاحظ بالنسبة لاينشتاين بعمر 16 سنة - إن معادلات ماكسويل لديها شيء مهم لتقوله حول الموجات الكهرومغناطيسية المجمدة، وكيف أن المجالات الكهربائية والمغناطيسية لا تكبــر أو تتلاشى بل تظل مستقرة وواقفة إلى الأبد. ولا وجود لمثل هــذه الأشــياء! فيــستحيل ان تكــون الموجة الكهرومغناطيسية واقفة (جامدة).

إن اينــشتاين، وبسؤاله المبكر بالنسبة لعمره، وضع اصبعه على التــناقض أو اللاتــرابط، في قوانين الفيزياء. فإذا كنت قادراً ان تلحق بمــوجة الضوء، فستشاهد موجة كهرومغناطيسية واقفة، وهذا مستحيل. وهكــذا لا تــرى شــيئاً مــستحيلاً، ومستحيل ان تلحق بشعاع ضوء! وبكلمـــات أخرى، الشيء الذي لا يمكن اللحاق به - وهو الشيء الذي يلعب دور السرعة اللانهائية في الكون - هو الضوء.

احجار مؤسسة النسبية

ان عـــدم قابلـــية اللحاق بالضوء يمكن أن توضع في مكان آخر. تصور ان حد السرعة الكونية لانهائي (مع أننا نعرف انه ليس كذلك). مـــثلاً، يطلق الصاروخ من طائرة مقاتلة ويطير بسرعة لا نهائية. هل ســـرعة الصاروخ نسبة لأي شخص واقف على الأرض هي لا نهائية ومـــضافة لـــسرعة الطائرة؟ فإذا كانت كذلك، فسرعة الصاروخ نسبة لـــلأرض هي أكبر من اللانهائية. لكن ذلك مستحيل لأن اللانهائية هي أكبـــر رقـــم قابل للتصور. والشيء الوحيد هو ان سرعة الصاروخ ما تـــزال سرعة لا نهائية. وبكلمات أخرى، سرعته لا تعتمد على سرعة مصدره؛ سرعة الطائرة المقاتلة.

ويتـــبع ذلـــك أنه في الكون الحقيقي، حيث دور السرعة اللانهائية متعلق بسرعة الضوء، فإن سرعة الضوء لا تعتمد على حركة مصدره. وكـــذلك الأمـــر – 300,000 كم/ثانية – ليس من المهم كم هي سرعة مصدر الضوء عند انتقاله.

ان ســـرعة فقدان الضوء المعتمد على حركة مصدره هي إحدى الدعامتين، حيث باشر اينشتاين في "عامه الاعجازي" سنة 1905 ببناء صـــورة جديـــدة وثورية للمكان والزمان، انها نظريته النسبية الخاصة. والدعامة الأخرى – المساوية للأولى في أهميتها – فهي مبدأ النسبية.

ففـــي القرن السابع عشر، لاحظ الفيزيائي العظيم الايطالي غاليليو ان قوانين الفيزياء غير متأثرة بحركة النسبية. وبكلمات أخرى، لاحظوا نفـــس الـــشيء، فليس من المهم مقدار السرعة التي تتحرك بها بالنسبة لـــشخص آخر. وفكِّر بالوقوف في مجال ما، ورميك كرة لصديق على بعـــد عـــشرة امـــتار. الآن تصور انك في قطار متحرك وترمي الكرة لصديقك على بعد عشرة امتار على طول الممر. الكرة في كلتا الحالتين

تـــنقلب عندك بنفس المسار. وبكلمات أخرى، إن مسار الكرة يتبع عدم الأخذ بحقيقة أنك في قطار محمل بالبراميل بسرعة 120 كم/ساعة.

وبالحقيقة إذا كان زجاج القطار معتماً والقطار مثل المعلّق البراق الذي يكون حر التذبذب، فلن تكون قادراً على إخبارهم بحركة الكرة – أو أي شـــيء آخــر داخـــل القطار – سواء أكان القطار يتحرك أو لا يتحـــرك. ولأسباب لا أحد يعرفها، إن قوانين الفيزياء هي متشابهة، ولا يهم بأي سرعة تتحرك ما دامت السرعة ثابتة.

وعندما وضع غاليليو ملاحظته، فالقوانين التي كانت في رأسه هي قوانـــين الحركة التي في مسار القطار السريع الطائر في الهواء. كانت وثبة اينشتاين الجريئة لتمديد الفكرة لكل قوانين الفيزياء، بما فيها قوانين البـــصريات التي تجمع سلوك الضوء. وطبقاً لمبدأ النسبية، كل القوانين تـــبدو بالـــشكل نفـــسه بالنسبة للمراقبين المتحركين بسرعة ثابتة نسبة لبعضهم البعض. وفي القطارالمعتم، لا تستطيع ان تعلم إن كان الضوء قد انعكس أو واصل مساره سواء أكان القطار متحركاً أو ثابتاً.

وبـــدمج مبدأ النسبية مع الحقيقة التي تقول ان سرعة الضوء هي نفـــسها، وبغض النظر عن حركة مصدرها، فإنه يمكن أن تستنتج صفة أخـــرى للـــضوء. ولنقل انك تنتقل بسرعة عالية باتجاه مصدر الضوء. فـــبأي ســـرعة ينتقل الضوء باتجاهك؟ حسناً، تذكر انه لا توجد تجربة لـــتؤكد مـــن الذي يتحرك (ولنتذكر القطار المعتم). لذا فمن وجهة نظر عادلة نفترض انك واقف، ومصدر الضوء يتحرك باتجاهك. لكن تذكر أن سرعة الضوء لا تعتمد على سرعة مصدره. انها دائماً تساوي بدقة 300,000 كـــم/ثانـــية. وحيـــثما أنـــت واقف، فالضوء يصل بسرعة 300,000 كم/ثانية.

بالنتـــيجة، ليس فقط سرعة الضوء مستقلة عن حركة مصدره، بل إنهـــا كذلك مستقلة عن أي شخص يراقب الضوء. وبكلمات أخرى، إن

أي شـــخص في الكون - ولا يهم بأي سرعة يتحرك - يقيس بالضبط نفس سرعة الضوء المساوية لـــ 300,000 كم/ثانية.

ومـــا أبداه اينشتاين ليجيب عن نظريته الخاصة بالنسبية هو كيف أنـــه يمكن لكل شخص أن يقيس بدقة نفس سرعة الضوء. وهناك فقط طـــريقة واحدة: إذا كان المكان والزمان مختلفين تماماً عمّا يفكر به كل شخص حيالهما.

تقلص المكان وتمدد الزمان

لمـــاذا المكان والزمان يتدخلان في الأشياء؟ حسناً، إن سرعة كل شيء بما فيها سرعة الضوء هي المسافة في الفضاء حيث ينتقل الإنسان في فترة زمنية معطاة. تستعمل القوانين عادة لقياس المسافة، والساعات لقياس الزمن. وبالنتيجة، إن السؤال: كيف يستطيع أي كان بغض النظر عـــن حالته الحركية، أن يقيس سرعة الضوء؟ يمكن أن يُصاغ بطريقة أخـــرى. ماذا يحدث لقوانين وساعات الكل، عندما يقيسون مسافة انتقال الـــضوء فـــي زمـــن معطى، فهل سيحصلون على سرعة 300,000 كم/ثانية بالضبط؟

فـــي قـــشرة البـــندق، هذه هي النسبية الخاصة، وهي *الوصفة* لما يحـــدث للمكـــان والـــزمان بحيث إن كل شيء في الكون يوافق سرعة الضوء.

فكِّـــر فـــي ســـفينة فضاء تطلق شعاع ليزر على عينة من حطام الفضاء والتي تطير باتجاهها بسرعة 0.75 سرعة الضوء. فشعاع الليزر لا يـــستطيع ضـــرب الحطـــام بنفس سرعة الضوء. والطريقة الوحيدة لحـــدوث ذلـــك هـــي إذا كان هناك من يراقب الأحداث ويتوقع مسافة وصـــول الضوء المنتقل في وقت معطى اما دون توقع المسافة أو فوق توقع الزمن.

وبالحقـيقة، وكما اكتشف اينشتاين يحصل الأمران. وبالنسبة لأي شخص يشاهد سفينة الفضاء من الخارج، فسيرى حركة تقلص القوانين وحركة تباطؤ الساعات. المكان ينكمش والزمان يتمدد، وكلاهما ينكمش بـنفس الأسـلوب الضروري لكي تصل سرعة الضوء إلى 300,000 كم/ثانية بالنسبة لكل شخص بالكون. وهذا يشبه التآمر الكوني الضخم. والـشيء الـثابت في كوننا ليس المكان أو تغير الزمان بل هو سرعة الـضوء. وكـل شـخص آخر في كوننا ليس لديه الخيار لينظم نفسه للمحافظة على الضوء في موضعه المتفوق.

المكـان والـزمان كلاهمـا نـسبي. والاطوال والفترات الزمنية تـصبحان منحـرفتين في سرعات قريبة من سرعة الضوء. ان رؤية شخص ما من المكان هي ليست نفسها لشخص آخر في المكان. وكذلك فترة شخص ما من الزمان هي ليست نفسها لشخص آخر.

والـزمان بـدوره يجـري في معدلات مختلفة بالنسبة لمراقبين مختلفين اعتماداً على مقدار سرعة هؤلاء نسبة للآخرين. والتناقض بين دقـات سـاعاتهم ينال أكبر سرعة للحركة. فكلما سرت مسرعاً، كلما تـباطأ عمـرك[2]. انها الحقيقة المخفية لمعظم تاريخ البشرية. ولسبب بـسيط، ان تباطؤ الزمن هو الظاهر فقط عند سرعة قريبة من الضوء، وسـرعة الـضوء هـي ضخمة جداً، وللمقارنة طائرة الكونكرد تطير بـسرعة بطيـئة عبـر الـسماء. فـإذا تغيرت سرعة الضوء إلى 30 كم/ساعة، فلن يحتاج الأمر إلى عبقري كاينشتاين ليكتشف الحقيقة. وان

(2) بالضبط، المراقب الواقف يرى الوقت يتباطأ للمراقب المتحرك بمعامل γ حيث $\gamma = 1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ علماً ان v و c هما سرعة المراقب المتحرك وسرعة الضوء على التوالي. وبسرعة قريبة من سرعة الضوء، لا تصبح سـرعة المـراقب ضخمة، والوقت بالنسبة للمراقب المتحرك يتباطأ كثيراً حتى يقف!

تأثيـرات النـسبية الخاصـة مثل تمدد الزمان وانكماش الطول ستُرى بوضوح لمعدل عمر 5 سنوات.

لكـن مع أي زمان أو مكان، فالمسافة الفضائية بين أي شخصين تخـتلف بالنـسبة لمراقبين مختلفين اعتماداً على مقدار سرعة حركتهما نـسبة لبعـضهما البعض. والتناقض في قوانينهما بين الأكبر والاسرع حـركة. فكما قال اينشتاين: "كلما سرت مسرعاً، تكون أكثر نحافةً"[3]. وهـذا يكون دليلاً ذاتياً ان عشنا حياتنا متنقلين بسرعة قريبة من سرعة الـضوء. لكن حياتنا كما نحن في خط الطبيعة البطيء لا ترى الحقيقة؛ بأن المكان والزمان سيزيحان الأساس الذي أُسس عليه الكون، والسرعة الثابتة للضوء هي الأساس الذي بني عليه الكون.

(اذا فكرت ان النسبية هي صعبة فخذ فحواها من كلمات اينشتاين: "الشيء الأصعب في العالم هو فهم ضريبة دخل". وتجاهل كلمات حاييم وايـزمان، الـذي كان في رحلة بحرية مع العالم العظيم اينشتاين عام 1921 حين قال: "اينشتاين شرح لي نظريته، ومع وصولنا، كنت مقتنعاً تماماً انه فهمها!").

هـل مـن الممكن لأي كان ان يسافر أسرع من الضوء؟ فلا شيء ممكن ان يمسك بشعاع من الضوء. لكن الاحتمالية الموجودة هناك هي ان جـسيمات *داخـل الـذرة* تعـيش حياتها متنقلة دوماً أسرع من الضوء. والفيزيائيون سموا هذه الجسيمات الافتراضية تاشيونات. فإن كانت موجودة فـي المستقبل البعيد، فنحن نستطيع ايجاد طريقة لتغيير ذرات اجسامنا في التاشيونات والعودة اليها. عندئذٍ نستطيع السفر أسرع من الضوء.

---

(3) لنكون دقيقين في المراقبة، الواقف يرى طول الجسم المتحرك ينكمش بعامل γ حـيث $\gamma = 1/\sqrt{1-(v^2/c^2)}$ علمـاً ان v و c همـا سرعة المراقب المتحـرك وسرعة الضوء على التوالي. وعندما تقترب السرعة من سرعة الضوء فإن γ تتضخم والجسم يصبح كنتيجة مسلّم بها باتجاه حركته.

إحـــدى هذا المسائل مع التاشيونات، هي من وجهة نظر المراقبين المتحركين، جسم يسافر أسرع من الضوء ويستطيع الظهور مسافراً في الزمن نحو الوراء! فهناك قصيدة فكاهية تقول:

صـاروخ مستكشف يسمى الصانع،
سافر مرة أسرع من الضوء.
فسيظهر يوماً، بطريقة نسبية
عائداً في الليلة السابقة!

مصدر مجهول

ان انـــتقال الزمن يفزع العيش في وضح النهار بالنسبة للفيزيائيين والـــسبب أنـــه يصعّد احتمالية التناقض، والأحداث تقود إلى تناقضات منطقية أشبه برجوعك في الزمن، لتقتل جدتك. فإذا قتلت جدتك قبل ان تحمـــل بامـــك، فـــسيكون هناك جدال، كيف تكون قد ولدت لترجع في الزمن وتقتل جدتك؟ بعض الفيزيائيين، فكروا بأنه حتى الآن لم يكتشف قانـــون فيزيائـــي يتدخل ليمنع أشياء متناقضة من الحدوث، وهكذا فإن انتقال الزمن ربما يكون ممكناً.

معنى النسبية

لكن ماذا تعني النسبية حسب مفهوم المكسرات والترابيس؟ حسناً، لـــنقل انه كان ممكناً لك السفر إلى أقرب نجم والعودة بسرعة 99.5% مـــن ســـرعة الضوء. وبما ان نجم الفا سنتوري يبعد حوالى 4.3 سنة ضوئية عن الأرض، فالذين تركوا الأرض سيشاهدوك تعود بعد 9 سنوات ضوئية، مفترضين إيقاف رؤية المشهد. ومن وجهة نظرك فالمسافة إلى نجم الفا سنتوري ستتقلص عشر مرات بسبب النسبية. وبالنتيجة، تستلزم رحلة العودة 9/10 السنة أو ما يعادل 11 شهراً. ولنقل انك غادرت في

يــوم مــيلادك الـــــ 21، وشوهد من ميناء الفضاء اخوك التوأم. فعند عــودتك للبــيت، ســيكون عمرك 22 سنة، وتوأمك سيكون بعمر 30 سنة[4].

كيف يمكن أن يكون بقاء توأمك في البيت منطقياً في هذه المسألة؟ حــسناً، يفترض بانه عاش في حركة بطيئة خلال رحلتك. وبالتأكيد هذا يكفي، إذا كان ممكناً له مراقبتك داخل السفينة فهو يراك تتحرك كما لو كــنت داخل الدبس، ومع كل ساعات طاقم السفينة التي تتقدم ببطء أكثر بحوالــى عــشرة أضــعاف من الحالة الطبيعية. سيساهم توأمك بشكل صحيح في تقلص زمن النسبية. فكل هذه الساعات وكل شيء آخر على هذه الرحلة سيظهر متحركاً بسرعة طبيعية تماماً. هذا هو سحر النسبية.

وبالتأكيد، كلما كنت أسرع بانتقالك إلى نجم الفا سنتوري وعودتك مــنه، كلما كبر الفرق بين عمرك وعمر توأمك. وبسفرك سريعاً وبعيداً عبــر الكــون، سوف تعود لتجد توأمك قد مات ودفن منذ زمن. لا بل ستجد ان الأرض نفسها قد جفت وماتت. وبالحقيقة، إذا سافرت بسرعة الضوء، فالزمن يتباطأ بالنسبة لك، وبامكانك رؤية تاريخ المستقبل كاملاً يــتلألأ أشــبه بــسينما تمضي قدماً. وكما قال الفيزيائي الروسي ايغور نوفــيكوف: "ان احتمالــية زيارة المستقبل هي تماماً مذهلة لأي شخص يتعلم المستقبل للمرة الأولى".

---

(4) فعلــياً هــناك عيب دقيق في هذه المناقشة. وحيث إنها الحركة نسبية، فإنها مبــررة تمامــاً لتوأمك الأرضي لافتراض انها الأرض التي انحسرت من ســفينتك الفــضائية بنسبة 99.5% من سرعة الضوء. فعلى كل حال، هذه النظرة تقود إلى استنتاج مضاد أكثر من قبل، وذلك أن الوقت يتباطأ بالنسبة لتوأمك بشكل متناسب معك. وبوضوح، الوقت لا يمكن أن يكون بطيئاً لك، فــي ما يتعلق بالآخر. والحل لهذا التناقض التوأمي، كما هو معروف، هو إدراك ان سفينة الفضاء تتباطأ فعلياً وتعكس حركتها في نجم الفا سنتوري. وبــسبب هــذا التوضيح، فإن كلاً من سفينتك الفضائية أو الأرض تتحرك بصورة غير متكافئة أو قابلة للتغير.

ولكــن ليس لدينا حتى الآن القدرة على السفر لاقرب نجم والعودة منه باقرب ما يمكن لسرعة الضوء (أو حتى 1% من سرعة الضوء). ومــع ذلــك، فإن تباطؤ الزمن قابل للكشف فقط في عالم اليوم. وتُنجز التجارب بساعتين ذريتين دقيقتين جداً ومتزامنتين ومفصولتين. فتوضع إحداهما في طائرة تطير حول العالم بينما تبقى الأخرى بالبيت. وعندما تعود الساعة يجد التجريبيون بأن الساعة التي طارت حول العالم سجلت مــروراً هامــشياً أقل وقتاً من نظيرتها الباقية بالبيت. فالوقت الأقصر بقياس حركة الساعة هو بالضبط ما توقعه اينشتاين.

ان تباطؤ الزمن يؤثر على رواد الفضاء أيضاً. كما أشار لذلك نوفــيكوف فــي كــتابه القيّم، **نهــر الزمن**: "عندما عاد طاقم محطة الفــضاء ساليوت السوفيتية إلى الأرض عام 1988 بعد دوران لمدة سنة بسرعة 8 كم/ثانية، فقد خطوا في المستقبل بجزء من 100 جزء من الثانية".

ان تأثيــر تــباطؤ الزمن صغير، والسبب ان الطائرات ومركبات الفــضاء تنتقل في جزء قليل من سرعة الضوء. وعلى كل حال، يبدو ذلــك كبيراً جداً لميونات الشعاع الكوني، فالجسيمات داخل الذرة تُصنع حــين تــضرب الأشعة الكونية - نوى ذرات عالية السرعة قادمة من الفضاء - جزيئات الهواء في قمة الغلاف الجوي للأرض.

والمفــتاح لمعرفة الميونات هو أنها وبشكل مأساوي تعيش بشكل قصير، وبمعدل، وتنهار أو تتحلل بعد مرور جزء من 1.5 مليون جزء من الثانية. وبما أنها اندفعت خلال الغلاف الجوي بأكثر من 99.92% مــن ســرعة الضوء، فهذا يعني انها تسافر بمجرد 0.5 كم قبل تدمير ذاتهــا. وهذا ليس بعيداً على الإطلاق عندما تدرك بأن ميونات الأشعة الكونــية وُجــدت بحوالى 12.5 كم أعلى في الهواء. وليس أساسياً أنها يجب أن تصل إلى الأرض.

وبـــشكل متـــناقض مـــع كل التوقعات فكل متر مربع من سطح الأرض قـــد ضُرب بمئات عديدة من ميونات الشعاع الكوني كل ثانية. وبطـــريقة ما فهذه الجسيمات الصغيرة تخطط لتنتقل بشكل أبعد بخمسة وعشرين ضعفاً وكل ذلك بسبب النسبية.

إن الـــزمن المجرب لتسريع الميون هو ليس نفس الزمن المجرب لأي شـــخص على سطح الأرض. والميون له ساعة تنبيه داخلية والتي تخبـــر متـــى يـــتحلل. فعند نسبة 99.92% من سرعة الضوء، تتباطأ الـــساعة بمعامـــل مـــا يقـــارب 25 على الأقل للمراقب على الأرض. وبالنتيجة، تعيش ميونات الاشعاع الكوني 25 ضعفاً أطول مما لو كانت متوقفة، ويكفي الزمن للانتقال في كل الطريق نحو الأرض قبل تحللها. اما ميونات الشعاع الكوني على الأرض فتدين ببقائها لتباطؤ الزمن.

فمـــاذا يـــبدو العـــالم من وجهة نظر الميون؟ لنفكر في ذلك، فمن وجهـــة نظـــر الفـــضاء البعيد التوأم أو الساعة الذرية التي تطير حول العـــالم، فالـــزمن ينتقل بشكل اعتيادي. خذ الميون، انه ما يزال يتحلل بجـــزء مـــن 1.5 ملـــيون جزء من الثانية. ومن وجهة نظره، انه يقف مقاومـــاً ليصل سطح الأرض، والتي تقارب نسبة 99.92% من سرعة الـــضوء. لذلك تبدو المسافة التي ينتقل فيها تتقلص بمعامل 25، وتمكنه من الوصول إلى الأرض حتى مع عمر الزمن القصير جداً.

انه التناقض الكوني العظيم بين الزمان والمكان مهما كانت السبل التي تنظر اليها.

لماذا يمكن أن تكون النسبية

ان سلوك الزمان والمكان في سرعات قريبة من الضوء هو بالفعل مـــدهش. وعلـــى كـــل حـــال، إن ذلك لا يجب أن يكون مفاجئاً لأحد. وبالإضافة إلى ذلك، تفيد تجربة يومنا بأن الفترة الزمنية لشخص ما هي

الفتــرة الــزمنية لشخص آخر، والفترة المكانية لشخص ما هي نفسها لــشخص آخر. واعتقادنا بكلا الشيئين هو بالحقيقة استناداً إلى فرضية غير ثابتة جداً.

خــذ الــوقت. تــستطيع ان تصرف عمر الزمن كمحاولة عقيمة لتعــريفه. أدرك اينشتاين أن التعريف المفيد الوحيد هو الشيء الخاص. فــنحن نقــيس مــرور الــزمن بالساعات الجدارية واليدوية. لذلك قال اينــشتاين: "الزمن هو ما نقيسه بالساعة". (وفي بعض الأحيان، تحتاج لعبقري ليوضّح ما هو بديهي!).

فــإذا ذهب كل شخص ليقيس نفس الفترة الزمنية بين حدثين، فإن ذلــك يكافئ القول بأن ساعاتهم تتحرك بنفس المعدل. لكن وكما يعرف كل شخص، هذا لا يحدث تماماً. فساعة المنبه ربما تتحرك ببطء قليلاً، وســاعتك الــيدوية ربمــا تتحرك بشكل أسرع قليلاً. وتغلّبنا على هذه المــسائل – الآن وفيما بعد – بمزامنتها. مثلاً: نسأل أياً كان عن الزمن الصحيح، وعندما يخبرنا، نصحح ساعتنا اليدوية طبقاً لذلك. أو نصغي لاشارة الزمن *الدقات* على قناة البي بي سي. لكن باستعمال هذه الدقات فإنــنا نــوجد فرضية مخفية. والفرضية هي أن الاعلانات الراديوية لا تحتاج إلى وقت على الإطلاق لتنتقل إلى مذياعنا. وبالنتيجة عندما نسمع المذيع يقول انها الساعة 6 صباحاً، فإنها الساعة 6 صباحاً.

الإشــارة لا تأخــذ وقــتاً لانــتقالها بسرعة لا نهائية. والعبارتان متكافئتان تماماً. لكن كما نعرف، سرعة الأمواج الراديوية هي شكل من اشكال الموجات غير مرئية للعين المجردة، وهي ضخمة جداً مقارنة مع كــل المــسافات البــشرية التي لا يلاحظ أي تأخير في انتقالها إلينا من المرسل. إن افتراضنا ان الأمواج الراديوية تنتقل بسرعة لا نهائية – على الــرغم من أنه خاطئ – ليس سيئاً. لكن ماذا يحدث إذا كانت المسافة من المرسل هي كبيرة جداً في الواقع؟ كما لو كان المرسل على المريخ.

عـندما يكـون المريخ قريباً، فالإشارة تحتاج لخمس دقائق لتطير عبـر الفـضاء إلى الأرض. فإذا سمعنا المذيع على المريخ يقول انها الساعة 6 صباحاً، ووضعنا ساعتنا على 6 صباحاً، فسوف نضعها على الـوقت الخطـأ. والطريقة هي بأن تأخذ بالحساب خمس دقائق تأخير زمني. وعندما نسمع 6 صباحاً، نضع الساعة على 6:05 صباحاً. فكل شـيء بالتأكـيد يـتوقف علـى معرفة الزمن الذي تحتاج إليه الإشارة للانـتقال مـن الأرض إلـى المريخ. وعملياً يعمل هذا بانحناء إشارة الـراديو مـن الأرض إلـى المريخ والتقاط الإشارة العائدة. فإذا كانت الإشـارة لرحلة العودة تستغرق 10 دقائق، فيجب أن تستغرق 5 دقائق للانتقال من سفينة الفضاء إلى الأرض.

ان نقـص الـسرعة اللانهائـية يعني عدم ارسال اشارات، لذلك فالمـشكلة بحد ذاتها تتزامن مع ساعات أي شخص. وما يزال بالإمكان انجازهـا بارتـداد اشارات الضوء للخلف وقدماً نحو الأمام، مع الأخذ بالحسبان تأخير الزمن. والمشكلة هي أن ذلك لا يعمل بشكل أفضل إلا إذا كـان كل شخص واقفاً نسبة لشخص آخر. وفي الحقيقة، كل شخص بالكـون يتحرك نسبة إلى شخص آخر. والدقيقة التي تبدأ عندها ارتداد اشـارات الضوء بين المراقبين المتحركين، هي وصفة الثبات المدهشة لسرعة الضوء التي تبدأ لتحدث فوضى مع الحس المشترك.

ولـنقل ان هـناك سفينة فضاء تنتقل بين الأرض والمريخ، وانها تتحـرك بسرعة جداً، بحيث تظهر الأرض والمريخ متوقفين. تخيل – كمـا حـدث من قبل – انك ترسل إشارة راديو إلى المريخ، فترتد عن الكـوكب وبعدئـذٍ تلـتقطها عند عودتها إلى الأرض. ان رحلة العودة تـستغرق 10 دقائـق، لـذا نستنتج ان الإشارة وصلت إلى المريخ بعد حوالى 5 دقائق. ومرة أخرى، إذا التقطت إشارة من المريخ، ولنقل انها 6 صباحاً، فستستنتج من تأخر الزمن انها بالحقيقة 6:05 صباحاً.

والآن خــذ بالاعتــبار سفينة فضاء. افترض انه في اللحظة التي ترســل اشارتك الراديوية إلى المريخ فإنها تنطلق بأقصى سرعتها إليه. ففــي أي وقــت يــستطيع المراقب على سفينة الفضاء أن يرى إشارة الــراديو تــصل إلى المريخ؟ فمن وجهة نظر المراقب، فالمريخ ممكن الاقتــراب مــنه، لــذا فاشارة الراديو لها مسافة قصيرة للانتقال. ولكن سرعة الإشارة هي نفسها بالنسبة لك وللمراقب على سفينة الفضاء. تلك هي الغرابة المركزية للضوء، انها بالضبط نفس السرعة لكل شخص.

وتذكــر أن الــسرعة هي المسافة التي ينتقل فيها الشيء في زمن محــدد. لذا إذا كان المراقب على سفينة الفضاء يرى الإشارة الراديوية تنــتقل بمــسافة اقصر، وبنفس السرعة، إذاً يجب عليه أن يقيس زمناً أقــصر أيضاً. وبكلمات أخرى، يستنتج المراقب ان إشارة الراديو تنتقل إلــى المــريخ قــبل أن تتوصل أنت إلى استنتاجك. وبالنسبة للمراقب، فالــساعات على المريخ تدق ببطء أكبر. إذا التقط المراقب إشارة وقت مــن المريخ ولنقل عند الساعة 6 صباحاً، عندئذٍ سيصحح المراقب ذلك مــستعملاً تأخيــراً زمنياً أقصر ويستنتج ذلك، ولنقل عند 6:03 وليس 6:05 صباحاً التي استنتجتها.

الخلاصـــة هي ان المراقبين المتحركين نسبة لبعضهما البعض لا يحددان نفس الزمن لمسافة الحدث. فساعتاهما تكونان دائماً في سرعتين مختلفتــين. وهــذا الفرق هو بالتأكيد اساسي. فلا كمية ابداع في تزامن الساعات تستطيع ديمومة ذلك.

ظلال الزمان - المكان

ان تــباطؤ الزمان وتقلص المكان هما الثمن الذي يجب أن يدفعه كــل شخص في الكون، ومهما كانت حالة حركتهما فإنهما يقيسان نفس سرعة الضوء. لكن ذلك في البداية فقط.

ولنقل ان هناك نجمين وسفينة فضائية تطفو في وسط معتم بينهما. وتخـيل أن النجمين ينفجران ويبدوان انهما ينفجران آنياً، وأن شخصين أعميـين يشاهدان الضوء لفترة قصيرة على الجانب الآخر. والآن تخيل سـفينة الفـضاء تنتقل في سرعة ضخمة على طول الخط الواصل بين النجمـين، وتمـر بصورة ملائمة فقط كما يراه النجمان ينفجران. فماذا يرى قبطان سفينة الفضاء؟

حـيث ان الـسفينة تتحـرك باتجاه نجم واحد وتبتعد عن الآخر، فالـضوء من النجم الذي تقترب منه سوف يصل قبل الضوء من النجم المبتعدة عنه. فالانفجار سوف لا يظهر آنياً. وبالنتيجة، ان مفهوم الآنية هـو سببية الثبوتية لسرعة الضوء. والأحداث التي يراها المراقب آنياً هي ليست كذلك بالنسبة لمراقب آخر يتحرك نسبة إلى المراقب الاول.

والمفـتاح هـنا هو ان النجوم المتفجرة مفصولة بمسافة مكانية. والأحـداث يراها شخص واحد في مكان واحد، وشخص آخر يراها في مكـان وزمـان آخر، والعكس بالعكس. وكذلك الأحداث يراها شخص واحد في الزمان فقط، بينما يراها الشخص الآخر في زمان ومكان.

وزمـن أي شخص يقيس سرعة الضوء هو ليس فقط زمن حركة أياً كان قد سبقك في سرعة عالية متباطئة بينما المكان يتقلص فيبدو لك كوقت وبعض اوقاتهم يبدو لك كمكان.

ان الفتـرة المكانية لشخص واحد هي فترة مكان وزمان لشخص آخـر. وفتـرة زمان شخص ما هي فترة زمان ومكان لشخص آخر. وحقـيقة ان الزمان والمكان قابلان للتبادل تخبرنا بشكل قابل للملاحظة وغيـر مـتوقع حـول الزمان والمكان. وبالأساس فالأشياء نفسها تبدو جوانب مختلفة لنفس العملة.

والـشخص الذي رأى هذا – كان أكثر وضوحاً حتى من اينشتاين نفسه – كان استاذ الرياضيات الاسبق لاينشتاين وهو هيرمان منكووسكي،

رجـــل شهير من المعروف أنه كان ينادي تلميذه "كلب كسول" والذي لا يساوي شيئاً. (لوضعه الدائم، وقد بلع كل كلماته). قال منكووسكي: "من الآن فصاعداً، المكان لنفسه والزمان لنفسه سيغوصان في ظلال مجردة وسيبقى نوع من الاتحاد بينهما على قيد الحياة".

عمّــد منكووســكي هذا الاتجاه المدهش للزمان والمكان "زمان-مكـــان". ومـــن الواضح أن وجوده سيكون شديد الصخب لنا إذا عشنا حياتنا متنقلين قريبين من سرعة الضوء. والعيش في طبيعة رتيبة جداً، يجعل حياتنا بلا تواصل. فكل ما نلمحه هو اوجه زمانه ومكانه.

وكما وضّح منكووسكي، الزمان والمكان يشبهان الظلال للزمان - المكان. فكِّر بعصا معلقة من سقف غرفة لكي تبرم حول وسطها وتحدد الاتجـــاه؛ أشـــبه بإبرة البوصلة. فالضوء البراق يرمي ظل العصا على جـــدار واحد، بينما الضوء البراق الثاني يرمي ظل الهدف على الجدار القـــريب. ونحـــن إذا اردنا ان نسمي حجم ظل العصا على جدار واحد "طـــوله" وحجـــم ظلـــه على الجدار الآخر "عرضه" فماذا عندئذٍ يحدث للعصا عندما تدور حول محورها.

وبوضـــوح، فحجم الظل يتغير باختلاف الجدران. فإذا كان طوله قـــصيراً، فعرضه يكون اكبر، والعكس بالعكس. فحقيقة، الطول يظهر ليغيـــر العرض، والعرض ليغير الطول، كما لو أنهما مظهران للشيء نفسه.

وبالتأكـــيد انهمـــا مظهـــران للشيء نفسه. الطول والعرض ليسا أساســـيين علـــى الإطلاق. انها ببساطة صناعية الاتجاه الذي نختار أن نـــراقب العصا منه. والشيء الأساسي هو العصا نفسها، والتي تستطيع رؤيـــتها ببساطة بتجاهل الظلال على الجدار والمشي نحوها إلى مركز الغـــرفة. حـــسناً، فالزمان والمكان أكثر شبهاً بالطول والعرض للعصا. انهمـــا ليـــسا اساسيين على الإطلاق لكنهما صناعيان من وجهة نظرنا،

خصوصاً مقدار سرعة انتقالنا. لكن خلال الشيء الأساسي في الزمان-المكـــان، فـــإن هذا ظاهر فقط من وجهة نظر انتقال قريبة من سرعة الضوء، مما يؤكد لماذا ليست واضحة لأي منا في حياتنا اليومية.

بالتأكـــيد العـــصا والظل متشابهان، ككل الأشياء المتماثلة، ويصلان لنقطة واحدة. بينما الطول والعرض للعصا هما متكافئان تماماً. إن هذا ليس صـــحيحاً تماماً بالنسبة لأوجه المكان والزمان من الزمان-المكان. ومع أنه بإمكانك أن تتحرك في أي اتجاه تريده في الفضاء، إلاّ أنك وكما يعرف أي شخص تستطيع ان تتحرك في اتجاه واحد فقط في الوقت نفسه.

إن حقـــيقة الـــزمان-المكان هي صعبة، وللزمان والمكان مجرد ظلال تبرز نقطة عامة. أشبه بملاحي سفينة غارقة يتشبثون بصخرة في بحر جامح، فلصنع صدى للعالم نبحث يائسين عن أشياء لا تتغير. نحن نعـــرف أشـــياء مثل المسافة والزمان والكتلة. لكن مؤخراً نكتشف بأن الأشـــياء التي عرفناها لا تتغير فقط من وجهة نظرنا المحدودة. وعندما نوســـع مـــنظورنا للعالم نكتشف بأن أشياء أخرى لم نكن نشك فيها هي أشياء ثابتة. وهكذا هو الأمر مع الزمان والمكان. فعندما نرى العالم من نقطـــة افـــضلية للسرعة العالية، لا نرى المكان ولا الزمان ولكن نراه كعالم بلا اتصال مع الزمان والمكان.

فعلـــياً يجب المضي قدماً بأن الزمان والمكان لا سبيل لهما إلى الظفر. فكِّر بالقمر، فماذا يشبه الآن في هذه اللحظة؟ الجواب هو لا نعـــرف ابـــداً. وكـــل الـــذي نعرفه هو ما كان يشبهه منذ 1¼ ثانية مـــضت، انـــه الـــزمان الـــذي يحتاجه الضوء لينتقل من القمر عبر 400,000 كـــم إلى الأرض. والآن فكر بالشمس. لا نستطيع معرفة مـــاذا تـــشبه، فما نعرفه هو ما كانت تشبهه منذ 8¼ دقيقة مضت. ولأقـــرب نجم، هو الفا سنتوري، فنحن نعمل الصورة التي بها نرى الوقت قبل 4.3 سنة.

الفكــرة هــي انه وبالرغم من اننا نفكّر في الكون الذي نراه من خــلال التلسكوب بأنه موجود الآن، إلاّ أن هذه نظرة خاطئة. فنحن لا نعرف إطلاقاً ما يشبه الكون في هذه اللحظة. فعبر الفضاء الأبعد نرى الــرجوع الأبعــد في الزمن. فإذا نظرنا بعيداً بما يكفي عبر الفضاء قد نــستطيع فعلــياً ان نرى عن قرب طريقة تكوّن الكون، بالعودة بالزمن 13.7 نحو الوراء. والزمان والمكان مرتبطان معاً بشكل معقد. والكون الــذي نراه "خارجاً هناك" هو ليس الشيء الذي يتمدد في الفضاء، لكنه الشيء الذي يتمدد في الزمان والمكان.

إن الــسبب الــذي نخــدع به في التفكير بالزمان والمكان بأنهما منفــصلان هــو ذلك الضوء الذي يأخذ وقتاً قليلاً جداً ليسافر مسافات بــشرية والتــي نــادراً ما نلاحظ فيه التأخير. وعندما تتحدث مع أحد الأشــخاص، فإنــك تراه قبل أن يراك بمقدار جزء من مليار جزء من الثانية. لكن هذه الفترة غير قابلة للملاحظة والسبب هو أنها أقصر 10 ملايــين ضعف من أي حدث يستطيع أن يدرك بالعقل البشري. وانه لا عجــب ان نعتقد بأن كل شيء ندركه حولنا موجود الآن. لكن *الآن* هو مفهــوم خيالــي، والذي يصبح متوقعاً ان الكون أوسع، حيث المسافات كبيرة جداً ويحتاج الضوء لمليارات السنين لينتشر فيها.

ان الــزمان – المكــان للكــون يمكن أن يكون فكرة لخارطة ضخمة. وكل الأحداث – ابتداءً من خلق الكون إلى ميلادك في وقت ومكــان محــددين على الأرض – موضوع ذلك عليها، مع زمان – مكــان وحيد. ان صورة الخارطة هي ملائمة لأن الزمان – كجانب رد فعــل مــن المكان – يمكن أن يكون كفكرة لبعد فضائي إضافي. لكــن صــورة الخارطة توجد مشكلة. فإذا وضع كل شيء خارجاً، مقــدراً علــى الاغلب، فليس هناك غرفة لمفاهيم الماضي والحاضر والمــستقبل. فاينــشتاين لاحــظ: "بالنسبة لنا كفيزيائيين، الفرق بين

الماضي والحاضر والمستقبل هو الصورة المضللة فقط".

انــه ظريف ان تخضع للصورة المضللة. ومع ذلك فالحقيقة تبقى بــأن مفاهــيم الماضي والحاضر والمستقبل لا تظهر على الإطلاق في النــسبية الخاصة؛ إحدى اوصافنا الأساسية للحقيقة. والطبيعة تظهر انها تحتاج لها. فلماذا نحن نعمل في واحد من الالغاز المستعصية الكبرى.

$E=mc^2$ وكل ذلك

النظــرية النسبية الخاصة تعمل بعمق لتغيير افكارنا حول المكان والــزمان. انها تغير افكارنا حول مجموعة من الأشياء الأخرى أيضاً. والــسبب هــو ان كــل الكمــيات القاعدية للفيزياء موجودة في الزمان والمكــان. إذا – وكما اخبرتنا النسبية – كان الزمان والمكان مطواعين وملطخــين الــواحد بالآخر عندما يصلان سرعة الضوء، فكذلك الأمر بالنــسبة للكيــنونات الأخــرى؛ كالزخم والطاقة والمجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية. أشبه بالزمان والمكان المندمجين في وسط بلا اتــصال من الزمان – المكان، فانهما أيضاً – لا سبيل لهما – مرتبطان معاً باهتمامات حفظ سرعة الضوء الثابتة.

خذ الكهربائية والمغناطيسية. انهما اوجدا فقط عندما يكون فضاء شــخص هو زمان شخص آخر، ومجال مغناطيسي لشخص هو مجال كهربائي لشخص آخر. فالمجالات الكهربائية والمغناطيسية هي حاسمة لكــلا المــولدين اللــذين يجعلان التيارات الكهربائية والمحركات تدور بتيارات كهربائية في الحركة. فقد كتب ليغ بيج عام 1940 ان: "حافظة المغناطــيس الدوار لكل مولد وكل محرك في هذا الجيل من الكهربائية هي اعلان مثبت لحقيقة النظرية النسبية لكل من له آذان تسمع". وبسبب عيــشنا فــي عــالم حــركة بطيئة، فنحن نُخدع باعتقادنا ان المجالات الكهربائية والمغناطيسية لها وجود منفصل. ولكنها مثل الزمان والمكان؛

هـــي مجـــرد اوجـــه مخـــتلفة لنفس العملة. وفي الواقع، يبدو المجال الكهرومغناطيسي عديم الوجود.

إن كميتـــين همـــا كميتان لهما اوجه فقط لنفس العملة هما الطاقة والزخم[5]. وفي هذه العلاقة غير المتشابهة ربما تختبئ المفاجأة الكبرى للنسبية؛ وهي بأن الكتلة شكل من أشكال الطاقة. وان الاكتشاف الأكثر شهرة، والاقل فخامة، هو معادلة لكل العلوم: $E=mc^2$.

(5) إن زخـــم الجـــسم هو قياس كمية الجهد اللازمة لإيقافه. كمثال، إن إيقاف صهريج زيت – ومع أنه يتحرك لكيلومترات قليلة بالساعة – أصعب بكثير مـــن إيقـــاف ســـيارة فورميلا 1 منطلقة بسرعة 200 كم/ساعة. نقول ان صهريج الزيت أكثر زخماً.

8

$E=mc^2$ ووزن شروق الشمس

كيف اكتشفنا ان المادة الطبيعية تحتوي على مليون ضعف قوة الديناميت التدميرية

الفوتونات لها كتلة؟!؟ لم اعرف ابداً انها كاثوليكية.

وودي الين

إنهــا أكبــر مجموعة خيالية من مقاييس الحمّام. نعم انها مقاومة للحــرارة أيــضاً. وانها بالحقيقة كبيرة جداً بحيث يمكنها أن تزن نجماً بكاملــه. والــيوم هـــي بــوزن النجم الأقرب لنا، انها شمسنا. والرقم المعروض يسجل 2×10^{27} طن. انه 2 متبوع بـــ 27 صفراً؛ أي 2,000 مليون مليون مليون مليون طن. ولكن انتظر دقيقة، هناك شيء ما غير صحيح. فالمقاييس هي فائقة الدقة. وهناك شيء آخر قابل للملاحظة حولها، بالإضافة لحجمها ومقاومتها للحرارة! ففي كل ثانية، عندما ينشط العرض، نقرأ 4 ملايين طن أقل من الثانية السابقة. وماذا بعد؟ بالتأكيد الشمس ليست أخف - بوزن صهريج محسن بحجم جيد - لكل ثانية مفردة؟

آه، انهــا كــذلك! الشمس تفقد طاقة حرارية، تشعلها في الفضاء كــضوء شمس. والطاقة بالفعل تزن شيئاً ما[1]. إذاً، أكثر اشعة الشمس

---

(1) انـــا استخدم كلمة الوزن هنا بالطريقة التي تستعمل بحياتنا اليومية كمرادف للكتلة. ونتكلم بصرامة، الوزن يكافئ قوة الجاذبية.

هـــي ما تخرجه الشمس، لتصبح اخف. تذكروا ان الشمس كبيرة وانها تفقد جزء من 10 ملايين جزء بالمائة من كتلتها بالثانية. وهذا أكثر من 0.1% من كتلتها منذ ولادتها.

فـــي الحقيقة ان الطاقة تزن بالفعل بعض الشيء، ويمكن أن ترى بـــشكل واضـــح من سلوك المذنب. وذيل المذنب دائماً أشبه بحزمة من عاصــفة متجمعة[2]. ان عاصفة الريح تُضرب بترليونات من جزيئات الهـــواء. انه قذف عنيد يسبب دفعاً باتجاه الخارج. فالقصة جميلة أكثر مـــن تلـــك في الفضاء العميق. ان ذيل المذنب هو خليط من جسيمات صغيرة لا تحصى من الضوء. وهو عبارة عن مسدس يقذف الفوتونات المـــسببة لـــتوهج غـــازات المذنب لموجة عبر اطنان من الملايين من الكيلومترات من الفضاء الفارغ[3].

لكـــن هـــناك فـــرق هام بين مجموعة الريح المضروبة بجزيئات الهـــواء وذيـــل المذنب المضروب بالفوتونات. ان جزيئات الهواء هي ذرات صـــلبة مـــن المـــادة. تقـــضي مدة في مجموعة الرياح الشبيهة برصاصات صغيرة، ولهذا يرتد مجال الريح. لكن الفوتونات ليست مادة صـــلبة، وفعلياً ليس لديها كتلة. إذن كيف يكون للفوتونات تأثير مشابه لجزيئات الهواء، وكيف يعمل؟

حسناً، الفوتون له طاقة، والآن فكر بحرارة ضوء الشمس تسقط على جلدك عندما تتشمس في يوم صيفي. الاستنتاج الذي لا مفر منه

---

(2) المـــذنب هـــو كرة ثلج عملاقة بين الكواكب. مليارات الأجسام تدور بعمق مجمـــد خلف الكواكب الأبعد. وبالصدفة، كان المذنب ذو الجاذبية يمر بنجم يسقط باتجاه الشمس. وكلما تسخن الكرة اكثر، فإن تشققات سطحها والابزيم يغليان في الفراغ ليشكلا ذنباً غازياً طويلاً ومتوهجاً.

(3) فعلياً، ذيل المذنب يدفع بدمج ضوء الشمس والريح الشمسية، وهو اعصار ســـاعة لمليون ميل من الجسيمات داخل الذرة. واغلبها نوى الذرات، والتي تتجول من الشمس.

هو ان الطاقة فعلياً لها وزن[4].

يـــتحول هــذا الأمـــر ليكون نتيجة مباشرة لعدم اللحاق بالضوء. وحـــيث ان ســـرعة الضوء هي بعيدة الوصول، فلا توجد مادة تستطيع التعجــيل بسرعة الضوء، ولا يهم كم تستلزم من الصعوبة. ان سرعة الــضوء تلعب دور السرعة اللانهائية لكوننا، كما لو أنها تأخذ كمية لا نهائـــية من الطاقة لتعجيل الجسم لسرعة لا نهائية. وبكلمات أخرى، إن سبب استحالة الحصول على سرعة الضوء هو انها تأخذ طاقة أكثر من تلك الموجودة في الكون.

فماذا يحدث، على كل حال، إذا كنت تدفع كتلة بسرعة قريبة جداً مـــن سرعة الضوء؟ حسناً، بما أن السرعة النهائية غير قابلة للادراك، فـــإن الجسم سيصبح اصعب واصعب ليدفع عندما يكون قريباً جداً من السرعة النهائية.

إن كونه صعبَ الدفع هو نفسه كما لو أن لديه كتلة كبيرة. وبالحقيقة ان كتلة الجسم تعرف بدقة هذه الصفة؛ كم من الصعوبة اللازمة لتدفع تلك الكـــتلة. ان ثلاجـــة محملة تزحزح بصعوبة، نظراً لامتلاكها كتلة كبيرة، بيـــنما مـــن السهل أن تزحزح إذا كانت كتلتها صغيرة. ولذلك، إذا كان الجـــسم صـــعب الدفع ليقترب من سرعة الضوء، يجب أن يكون أكثر ضخامة. وبالحقيقة، إذا لحق جسم المادة بسرعة الضوء، فستكون كتلته لا نهائية، وهي طريقة أخرى للقول ان تسارعه سيتطلب كمية لا نهائية من الطاقة. ومهما يكن الوضع العام، فإن ذلك مستحيل.

ان القانـــون الأساســـي للطبـــيعة هو أن الطاقة يمكن أن توجد أو تدمـــر، وتتنقل من ستار لآخر. مثلاً، تغير الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضـــوئية في المصباح الكهربائي، وتغير طاقة الصوت إلى طاقة حركية

---

(4) بـــذات المعنـــى، الفوتـــونات تملك العزم. وبمعنى آخر، انها تستلزم جهداً لايقافها. هذا الجهد يوفّر بواسطة ذنب المذنب والذي يرتد كنتيجة له.

بالـــتذبذب في الهاتف الصـدير. ماذا يحدث عندها لطاقة الجسم المتحرك بـــسرعة تقارب سرعة الضوء؟ وبصعوبة، إن أي طاقة من الممكن أن تـــزيد سرعة الجسم لأن الجسم المتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء يكون في الأصل متنقلاً بحدود السرعة القصوى.

والـــشيء الوحيد الذي يزيد دفع الجسم هو كتلته. فاين تذهب كل الطاقـــة؟ لـــنقل ان الطاقـــة تـــستطيع فقـــط ان تتغير من شكل لآخر. والاستنتاج الذي لا مفر منه – اكتشف من قبل اينشتاين – قال ان الكتلة نفـــسها شـــكل من أشكال الطاقة. والمعادلة التي تترك الطاقة في مادة كتلـــتها m، تعطى بالمعادلة الأكثر شهرة في كل العلوم: $E=mc^2$، حيث يرمز c إلى سرعة الضوء.

والـــرابطة بين الطاقة والكتلة هي الأكثر ملاحظة من كل النتائج لنظرية اينشتاين الخاصة. وتشبه الرابطة بين الزمان والمكان، انها تمثل بطريقين. الكتلة ليست أحد أشكال الطاقة بل ان أشكال الطاقة تملك كتلة فعالة لكن من الخشونة القول ان الطاقة تزن شيئاً ما.

ان طاقة الصوت وطاقة الضوء والطاقة الكهربائية – أي شكل من الطاقـــة التـــي تفكر بها – كل تلك الطاقات تزن شيئاً ما. فعندما تسخن ابريق القهوة فانت تضيف طاقة حرارية إليه. ولكن طاقة الحرارة تزن شـــيئاً ما. وبالنتيجة، يزن فنجان القهوة شيئاً ما حين يكون ساخناً أكثر مـــنه حين يكون بارداً. ان الكلمة الفعالة هنا هي بعض الشيء. والفرق في الوزن هو صغير جداً لكي يقاس. وبالحقيقة، إن ملاحظة ان الطاقة لهـــا وزن أمرٌ صعب، ولذا احتاج الأمر إلى عبقرية اينشتاين ليلاحظها اولاً. ومـــع ذلك، أحد أشكال الطاقة؛ كطاقة ضوء الشمس تظهر كتلتها عندما تتفاعل مع المذنب.

فالـــضوء يستطيع دفع ذنب المذنب، والسبب ان طاقة الضوء تزن شيئاً ما. والفوتونات لديها كتلة فعالة حسب طاقاتها.

وهــناك شكل مألوف آخر للطاقة؛ هو طاقة الحركة. فإذا خطوت مــسرعاً فــي مــسار دائري، فسوف تترك وبلا أدنى شك مثل شيء موجود. تشبه طاقة الحركة كل الاشكال الأخرى للطاقة والتي تزن شيئاً ما. لذا فأنت تزن هامشياً بشكل أكثر عندما تجري، منه عندما تمشي.

ان طاقة الحركة تشرح لماذا تستطيع فوتونات شعاع الشمس دفع ذنب مذنب. وشرح ذلك ضروري لأنها (الفوتونات) لا تملك فعلياً *كتلة حقيقــية*. وإذا امتلكــتها بعد كل ذلك، فستكون غير قادرة على الانتقال فعلياً بسرعة الضوء، تلك السرعة الممنوعة عن كل الأجسام التي لديها كــتلة. والكــتلة الفعالــة بديلة عن الضوء، تلك الكتلة التي لديها طاقة الحركة.

ان وجــود طاقة الحركة هو لشرح لماذا يكون فنجان القهوة أثقل عندما يكون ساخناً منه عندما يكون بارداً، بينما الذرات في الغاز تطير هنا وهناك. ولما كانت الذرات في فنجان قهوة ساخن تتحرك أسرع من الذرات في فنجان بارد، فإنها تمتلك طاقة حركية أكبر، وبالنتيجة فالقهوة تزن أكثر.

الأرانب خارج القبعات

يــبدو كثيراً جداً بالنسبة للطاقة أن تملك كتلة مكافئة، أو تزن شيئاً مــا. ان حقــيقة أن الكتلة شكل من أشكال الطاقة لها مضامين عميقة. وبيــنما يمكن لشكل الطاقة ان يتحول إلى شكل آخر، فإن طاقة – كتلة يمكــن انتقالها في اشكال أخرى للطاقة وبالعكس، واشكال أخرى للطاقة يمكن أن تغير في الطاقة – الكتلة.

فاذا كانت الطاقة – الكتلة تصنع من غير أشكال الطاقة، فنقول ان الكــتلة يمكــن أن تفــرقع عندما لا يكون للكتلة وجود. هذا بالضبط ما يحــدث لمعجلات الجسيمات العملاقة أو محطات الذرة في مدينة سيرن

السويسرية، حيث المركز الأوروبي لفيزياء الجسيمات قرب جنيف. ان الجسيمات داخل الذرة تنعطف حول حلبة تحت الأرض وتندفع معاً في ســـرعات قــريبة من سرعة الضوء. وفي الانهيار العنيف، فإن الطاقة الضخمة لحركة الجسيمات تتحول إلى طاقة - كتلة، وتمنى الفيزيائيون دراسة كتلة الجسيمات الجديدة. فعند نقطة التصادم، تبدو هذه الجسيمات ظاهرياً لا شيء؛ مثل الأرانب خارج قبعة.

هذه الظاهرة هي مثال لنوع واحد من الطاقة المتغيرة في الطاقة - الكـــتلة. لكـــن ماذا عن تغير الطاقة - الكتلة إلى شكل آخر من أشكال الطاقة؟ هل يحدث هذا؟ نعم، يحدث في كل زمان.

مليون ضعف القوة التدميرية للديناميت

فكـــر بقطعـــة فحم محترق. لأن الحرارة المحررة تزن شيئاً ما، ويفقد الفحم تدريجياً كتلة. لذا فإذا كان من الممكن جمعه ووزن منتجات الحـــرق - الـــرماد والغاز الملفوظ وهكذا - فإنها ستزن أقل من قطعة الفحم الأصلية.

ان كمـــية الطاقة - الكتلة تتحول إلى طاقة حرارية عندما يحرق الفحم ليبقى بحجم أصغر ما يمكن، وغير قابل للقياس اساساً. ومع ذلك، هـــناك أمـــاكن طبيعية مغطاة باشكال أخرى من الطاقة. وتعرّف عليها الفيزيائي الانكليزي فرانسز استون عام 1919 بينما كان يزن الذرات.

لنتذكـــر أن كـــل الذرات الطبيعية وعددها 92 تحتوي على نواة مـــصنوعة من جسيمين مميزين داخل الذرة، البروتون والنيوترون[5]. وهكـــذا فـــإن كتلتـــي النواتين متشابهتان، والنواة يمكن أن تكون الاثقل

(5) ما عدا ذلك، ان أغلب نوى نظائر الهيدروجين، مؤلفة ببساطة من بروتون واحد ونيوترون واحد.

بوزنها. وانها تشبه حجر لعبة الليغو. وذرة الهيدروجين، النواة الاخف، صـــنعت مـــن حجر واحد من لعبة الليغو، واليورانيوم الاثقل صنع من 238 حجراً من الليغو.

فهـــناك شـــك منذ بدء القرن التاسع عشر بأن الكون بدأ فقط بنوع واحـــد مـــن الذرة الابسط؛ أي الهيدروجين. ومنذ ذلك الوقت، فإن كل الـــذرات الأخرى كيفما تكون بنيت من الهيدروجين بعملية جمع أحجار اللـــيغو معـــاً. والدليل على هذه الفكرة التي افترضها الفيزيائي اللندني وليام بروت في 1815، هو أن ذرة كالليثيوم تزن 6 أضعاف أكبر من الهيدروجـــين وأن ذرة كالكربون تزن بالضبط 12 ضعفاً أكبر من ذرة الهيدروجين وهكذا.

علـــى كـــل حال، عندما قارن استون مختلف انواع كتل الذرات باستخدام أجهزة ابتكرها وسماها رسم طيف الكتلة، اكتشف عندئذٍ أشياء مخـــتلفة. فالليثيوم بالحقيقة يزن أقل من 6 ذرات هيدروجين، والكربون يزن أقل من 12 ضعف ذرة هيدروجين. والتناقض الأكبر كان أن ذرة الهيليوم، ثاني أخف ذرة. حيث إن نواة الهيليوم جمعت من أربعة أحجار لـــيغو، وبتـــرتيبها تزن أربع مرات أكبر من ذرة الهيدوجين. وبدلاً من ذلـــك، لقـــد وزنت 0.8% أقل من أربع ذرات هيدروجين. وكانت أشبه بوضع أربع حقائب تحتوي الواحدة منها على كيلوغرام واحد من السكر معاً، ووجدها تساوي تقريباً 1% أقل من أربعة كيلوغرامات!

واذا جمعت كل الذرات بالحقيقة من احجارالليغو لذرة الهيدروجين كمـــا توقع بروت، فإن اكتشاف استون اظهر شيئاً قابلاً للملاحظة حول بـــناء الذرة. وخلال ذلك فالكمية الهامة من الطاقة – الكتلة ذهبت اولاً. ان الطاقـــة – الكـــتلة تشبه كل أشكال الطاقة غير المدمرة. ويمكن أن تتغيـــر مـــن شـــكل لآخر. فالشكل المنخفض النهائي للطاقة هو الطاقة الحـــرارية. والنتيجة، أنه إذا تحول كيلوغرام واحد من الهيدروجين إلى

كيلوغرام واحد من الهيليوم، فإن ثمانية كيلوغرامات من الكتلة - الطاقة تكـــون قد تحولت إلى طاقة حرارية. والمدهش، أن الطاقة أكبر بمليون مرة من الطاقة المتحررة من حرق كيلوغرام واحد من الفحم.

ان معامـــل الملـــيون لـــم يلاحظ من قبل الفلكيين. فعبر الألفيات الـــسابقة، انـــدهش الناس كيف حفظت الشمس وهي تحترق. ففي القرن الخـــامس قبل الميلاد، تأمل الفيلسوف الاغريقي اناكساغورس (غفر الله لـــه) وفكر بأن الشمس كانت "كرة حارة حمراء من الحديد ليست أكبر مـــن الـــسيونان". ومؤخراً في القرن التاسع عشر؛ أي في عصر الفحم، تـــساءل الفيزيائيون فيما إذا كانت الشمس كتلة عملاقة من الفحم، وأُمّاً لكل كتل الفحم! على كل حال، لقد وجدوا أنها إن كانت كتلة من الفحم، فـــيمكن أن تحتـــرق في حوالى 500 سنة. والمشكلة في أن الدليل من علوم الأرض والحياة هو أن تلك الأرض - ومن ضمنها الشمس - هي أقدم بحوالى مليون مرة على الأقل. والاستنتاج الذي لا مفر منه هو ان الشمس تحتوي على مصدر للطاقة أكثر من الفحم بمليون مرة.

إن الرجل الذي جمع اثنين مع اثنين كان الفلكي الانكليزي ارثر ايدنغـــتون. ولقـــد ظن ان الشمس كانت مسحوقاً من الطاقة النووية والذريـــة. وهي في داخلها تضرب معاً الذرات ذات المواد الحقيقية، كالهيدروجـــين، لتكوّن ثاني أخف الذرات وهي الهيليوم. وفي عملية الطاقة - الكتلة كانت قد حولت إلى طاقة حرارية وضوئية. وللحفاظ علـــى النواتج المذهلة، فاربعة ملايين طن من الكتلة - أي ما يعادل ملـــيون فـــيل - تدمـــر كـــل ثانية. هذا كان المصدر النهائي لضوء الشمس.

وهذه هي المناقشة الملائمة حول المادة التي تجعل الضوء الخارج مـــن ذرة ثقـــيلة يحول إلى طاقة - كتلة في اشكال أخرى من الطاقة. والتفصيل في هذا ربما ينفع.

تصور أنك وأثناء سيرك إلى البيت يسقط حجر من السقف، ويضرب رأسك. فالطاقة حررت في هذه العملية. على سبيل المثال، تحرُّر الطاقة الضوئية من ضربة شديدة لحجر يضرب رأسك. وربما يصدمك بعنف، عندئذٍ تتحرر طاقة حرارية. فإذا استطعت قياس الحرارة للحجر ورأسك بدقة عالية، فستجدهما أدفأ قليلاً من ذي قبل.

فمن أين اتت هذه الطاقة؟ الجواب هو من الجاذبية. والجاذبية هي قوة الجذب بين جسمين كبيرين. ففي هذه الحالة تسحب الجاذبية الحجر إلى الأرض.

والآن، ماذا يحدث إذا كانت الجاذبية أكبر بمرتين مما هي عليه؟ الحجر سيسحب الحجر بشكل أسرع باتجاه الأرض. وستحدث ضوضاء أكبر عندما يصطدم بها، وسيكوّن حرارة أكبر وهكذا؛ وباختصار ستحرر طاقة أكبر. وماذا إذا كانت الجاذبية أكبر بعشر مرات؟ عندئذٍ ستطلق العنان لطاقة أكبر. والآن ماذا إذا كانت الجاذبية عشرة آلاف تريليون تريليون تريليون اقوى؟ بكل وضوح، سيتحرر مقدار كبير من الطاقة بتحطم الحجر (وباندماج الحجر والأرض سيكون أشبه بذرة الهيليوم). لكن أليس هذا خيالاً؟ بالتأكيد لا توجد هناك قوة تقدر بعشرة تريليون تريليون تريليون مرة اقوى من الجاذبية؟ حسناً، يوجد هناك مثل هذه القوة، وهي تعمل في كل واحد منا في هذه اللحظة الهامة! انها تسمى القوة النووية، وانها الغراء الذي يجمع نوى الذرات معاً.

تخيل ماذا يحدث إذا اخذت نواتي ذرتين خفيفتين وجعلتهما تسقطان تحت قوة نووية أكثر من سقوط الأرض والحجر معاً تحت قوة الجاذبية. سيكون التصادم هائلاً، وعنيفاً، لأن مقداراً ضخماً من الطاقة سيحرر؛ أكثر بمليون مرة من تلك التي تحررت بحرق نفس الوزن من الفحم.

إن مبنى الذرة هو ليس فقط مصدراً لطاقة الشمس؛ بل هو كذلك مصدراً لطاقة القنبلة الهيدروجينية. لذا فإن كل القنابل الهيدروجينية تدفع

معـــاً نـــوى الهيدروجين (كابناء عمومة لذرة الهيدروجين، وتلك قصة أخـــرى) لصنع نوى الهيليوم. ان نوى الهيليوم أخف من الوزن المدمج لاحجار مبنى الهيدروجين، والكتلة المفقودة ستعود مرة أخرى بالظهور كطاقة حرارية هائلة لكرة نار نووية. فالقدرة التدميرية لواحد ميغا طن مـــن القنبلة الهيدروجينية - أكبر بحوالى 50 مرة من تلك التي دمرت مديـــنة هيروشـــيما - تأتي من دمار أكثر بقليل من كيلوغرام واحد من الكتلة. قال اينشتاين: "اذا عرفت فقط، فيجب أن أصبح ساعاتياً". عاكساً دوره في تطوير القنبلة النووية.

تحويل كامل للكتلة إلى طاقة

بالرغم من ان اينشتاين قلّل من قيمة الكتلة، وبيَّن انها مجرد شكل بـــين اشكال لا تحصى من الطاقة، فهي مميّزة بطريقة واحدة: انها أكثر أشكال الطاقة المعروفة تركيزاً. وبالحقيقة، إن معادلة $E=mc^2$ تغلف هذه الحقيقة. رمز الفيزيائيون لسرعة الضوء بالرمز c وهو عدد كبير يعادل 300 ملـــيون م/ثانية. وبتربيعه أو بمضاعفته بنفسه، سيكون عدداً أكبر جداً، وبتطبيق المعادلة لكيلوغرام واحد من المادة يتبين انها تحتوي على 9×10^{16} جـــول مـــن الطاقة، وهي كافية لرفع سكان العالم بأكملهم إلى الفضاء.

وللحـــصول على هذا النوع من الطاقة الناشئة عن كيلوغرام واحد من المادة، فإنه من الضروري تحويلها كاملة إلى شكل آخر من الطاقة؛ تلك التي تدمر كل ما في كتلتها. والعمليات النووية في الشمس والقنبلة النووية تحرر 1% من طاقة المادة. على كل حال، فإنها تجعل الطبيعة تعمل أفضل بكثير من هذا.

ان الـــثقوب الـــسوداء هي مناطق من الفضاء تكون الجاذبية فيها قـــوية جـــداً حـــيث ان خفة وزنها لا تمكنها من الهروب، وهذا بسبب

اسودادها. انها البقية المتروكة عندما يموت النجم الضخم، متقلصاً بشكلٍ كارثـــيٍ في حجم يتغاضى عن الوجود. وبينما تدور المادة نحو الأسفل فـــي ثقب اسود - أشبه بالماء أسفل ثقب السدادة - يتحرك حول نفسه، مـــسخناً نفـــسه إلـــى غايـــة التوهج الحراري. والطاقة تتحرر بالضوء والحـــرارة. وفـــي حالة خاصة عندما يبرم الثقب الأسود بأقصى معدل ممكـــن، فـــإن الطاقة المتحررة تكافئ 43% من كتلة المادة التي تدار للـــداخل. هـــذا يعني ان - رطلاً فوق رطل - سقوط المادة على ثقب اسود هو أكثر فعالية بـــ 43 مرة من طاقة متولدة عن العمليات النووية لتقوية الشمس أو القنبلة الهيدروجينية.

وهذه ليست نظرية فقط. فالكون يحوي أهدافاً تسمى نجماً زائفاً أو شـــبه نجم، أو مراكز شديدة اللمعان لمجرات حديثة الولادة. وحتى ان مجـــرتنا درب اللـــبانة ربما حوت نجماً زائفاً في مركزها خلال شبابها المشاكس خلال العشرة مليارت سنة التي مضت. والشيء المربك حول الـــنجوم الزائفة هو انها تضخ طاقة الضوء لمئة مجرة عادية - أي ان هـــناك عشر ملايين ملايين شمس - وفي منطقة أصغر من مجموعتنا الشمـــسية. كل تلك الطاقة لا يمكن الاتيان بها من النجوم، فإنه يستحيل ان تكـــسب 10 ملايـــين ملايين شمس في حجم صغير من الفضاء. إن بإمكانهـــا أن تأتي فقط من ثقب اسود عملاق رضيع. فالفلكيون يعتقدون بشدة بأن النجوم الزائفة تحوي " كتلة هائلة" من الثقوب السوداء - تصل إلـــى عشرة مليارات مرة من كتلة الشمس - والتي تلتهم بثبات النجوم الكاملـــة. لكـــن حتى الثقوب السوداء تستطيع تحويل نصف الكتلة من المادة إلى اشكال أخرى من الطاقة.

هـــل هـــناك عملـــية تحول كل الكتلة إلى طاقة؟ الجواب هو نعم. فالمـــادة فعلـــياً تأتـــي فـــي نوعين، المادة والمادة المضادة. وليس من الـــضروري معرفة أي شيء حول حقيقة المادة المضادة. وعندما تلتقي

المــادة والمــادة المضادة، فالاثنتان تدمران، أو تُفني إحداهما الأخرى، بنسبة 100% من ومضة الكتلة – الطاقة في اشكال أخرى من الطاقة.

والآن يظهــر كوننا – لسبب لا أحد يعرفه – وكأنه صنع بالكامل مــن المــادة. وهذا ارباك عميق، لأنه عندما تصنع مقادير ضئيلة من المادة المضادة في المختبر، فإن ولادتها تترافق دائماً بمقدارٍ متساوٍ من المــادة. ولأنه لا وجود للمادة المضادة في الكون، فإذا أردنا شيئاً يجب عليــنا أن نــصنعه، وهذا صعب. فليس عليك فقط أن تبذل الكثير من الطاقــة لتصنعها بل إنها تميل لتفنى حال لقائها بمادة اعتيادية، لذا فمن الصعب تراكم الكثير منها. والعلماء بكل مكان تمكنوا من جمع أقل من جزء من مليار جزء في غرام واحد.

ومــع ذلك، إذا كانت مشكلة صنع المادة المضادة من الممكن ان تكون مفرقعة، فسيكون لنا تصور لمصدر قدرة الطاقة الكلية. والمشكلة فــي كل سفن الفضاء هي أن رواد الفضاء يجب أن يأخذوا كل وقودهم معهــم. لكــن الوقود يزن الكثير. والوقود يحتاج إلى الكثير لرفعه إلى الفــضاء. مــثلاً الصاروخ *ساتورن 5* يزن ثلاثة آلاف طن، وكل ذلك الوزن – بما فيه الوقود – يحتاج لأخذ رجلين إلى سطح القمر والعودة بهمــا بأمــان إلــى الأرض. فالمادة المضادة توفر طريقاً آخر. فسفينة الفضاء تتطلب أي مادة مضادة للتزود بالوقود لأن المادة المضادة تحوي مقــداراً هــائلاً من الطاقة؛ رطل فوق رطل. وإذا كنا دائمي السفر إلى النجوم، فسوف نضغط آخر قطرة من الطاقة الخارجة عن المادة. وفي *رحلة النجوم*، سوف نبني سفن فضاء مزودة بقدرة من المادة المضادة.

9

قوة الجاذبية غير موجودة

كيف اكتشفنا ان حقيقة الجاذبية أتت وجهاً لوجه مع الثقوب السوداء، والثقوب الدودية وساعات الزمن

اتى الاختراق فجأة في يوم من الايام. كنت جاساً على كرسي في مكتب براءات الاختراع ببيرن. وفجأة صدقتني الفكرة: إذا سقط رجل سقوطاً حراً، فلن يشعر بوزنه. أرجعني ذلك للخلف. هذه التجربة الفكرية البسيطة أوجدت لدي انطباعاً عميقاً، وقادتني إلى نظرية الجاذبية.

البرت اينشتاين

إنهما أختان توأمان، تبلغان من العمر 20 سنة. تعملان بنفس ناطحة السحاب في مانهاتن. واحدة تعمل مساعدة في محل تجاري بمستوى الشارع، والأخرى تعمل نادلة في مطعم بالطابق 52. انها الساعة 8:30 صباحاً. دخلتا من خلال الأبواب المدورة إلى النادي، وذهبتا بطريقين منفصلين. ذهبت إحداهما مباشرة فوق الأرضية الرخامية في الطابق الأرضي حيث محل التسوق، وركضت الثانية بشكل مفاجئ لغاية باب المصعد العالي قبل انغلاق الأبواب.

تدور عقارب الساعة الموجودة قرب المصعد، وتلف حول نفسها. والآن الساعة 5:30 عصراً. وعند الطابق الأرضي، تحدق مساعدة

المحـــل في ضوء المؤشر الأحمر، وتعد الطوابق النازلة. ومع صوت الجــرس، تفتح الأبواب إلى الخارج وتأتي اختها النادلة بعمر 85 سنة وشكلها منحنٍ، وهي تشبه صورة الزمام المنزلق الفضي.

فاذا فكرت بأن هذا السيناريو يبدو بالحقيقة مهزلة، فكّر مجدداً انه مــبالغ فــيه ومبتذل، ولكنه حقيقة مبالغ فيها. وأنت بالواقع تعمل ببطء أكثــر علـــى الطابق الأرضي للمبنى منه في الطابق العلوي. انها تأثير اينشتاين للنظرية النسبية العامة، والهيكل الذي اتى به عام 1915 ليثبت ملخصاً لنظريته الخاصة.

المـــشكلة مع النظرية النسبية الخاصة هي انها خاصة. إنها تتعلق بمـــا يـــراه الشخص عندما يتطلع إلى شخص آخر يتحرك بسرعة ثابتة نـــسبة لـــه، ويظهـــر ان الشخص المتحرك يبدو بأنه يتقلص في اتجاه حـــركته بيـــنما يتباطأ الزمن، هذه التأثيرات تصبح أكثر ملاحظة عند وصـــوله إلى سرعة الضوء. لكن الحركة بسرعة ثابتة هي نوع خاص جـــداً. والأجسام بشكل عام تغير سرعتها مع الزمن. مثلاً، تزيد سيارة ســـرعتها بعـــد الإشارة الضوئية، أو يبطئ مكوك الفضاء لناسا سرعته عندما يعيد الدخول للغلاف الجوي الأرضي.

والسؤال الذي أوجد له اينشتاين الجواب بعد نشره نظريته الخاصة عام 1905 هو: ماذا يرى الشخص عندما يتطلع إلى شخص آخر يسرع بالنـــسبة لـــه؟ الجواب – ذلك الذي احتاج إلى أكثر من عقد من الزمن ليحصل عليه – هو انها النظرية النسبية العامة، والمساهمة الكبرى للعلم بعقل بشري واحد.

فعـــندما باشـــر اينشتاين في بحثه، أقلقته مسألة واحدة: ماذا نفعل بقانـــون نيوتن للجاذبية. بالرغم من بقائها غير متحدية لما يقرب 250 ســـنة، فقد كان واضحاً لاينشتاين انها غير متوافقة مع النظرية النسبية الخاصة. وطبقاً لنيوتن، كل جسم ضخم يشد بقوة نحو جسم ضخم آخر

بقــوة جذب تسمى الجاذبية. مثلاً، هناك سحب جذبي بين الأرض وكل شــيء حــولها، انهــا تحفظ اقدامنا مثبتة بقوة إلى الأرض. وهناك قوة جاذبــية بــين الأرض والــشمس، والتي تحفظ الأرض في مدار حول الــشمس. لم يهدف اينشتاين إلى هذه الفكرة، لأن ما واجهه من صعوبة كــان مع سرعة الجاذبية. وافترض نيوتن بأن قوة الجاذبية تعمل آنياً، وان جاذبية الشمس تصل عبر الفضاء إلى الأرض، وأن الأرض تشعر بقوة شد الجاذبية بدون أي تأخير. وبالنتيجة، إذا محيت الشمس في تلك اللحظة - على سبيل افتراض ليس إلا - فالأرض ستشعر بغياب جاذبية الشمس في وقتها، وتطير في الفضاء بين النجوم.

هذا التأثير الذي يمكنه أن يقطع الهُوّة بين الشمس والأرض بغياب الــزمن، يجــب أن ينتقل بسرعة محددة ومتكافئة تماماً. على كل حال، اكتــشف اينشتاين انه لا شيء ضروري - بما فيه الجاذبية - يستطيع الــسفر أســرع من الضوء. وحيث ان الضوء يستغرق أكثر من ثماني دقائــق للسفر بين الأرض والشمس، فتبعاً لذلك، إذا أزيلت الشمس فجأة فالأرض تستمر في مدارها على الأقل لثماني دقائق قبل ان تلف خارجاً نحو النجوم.

إن الفرضــية الضمنية لنيوتن بأن الجاذبية تصل عبر الفضاء في ســرعة لا نهائية ليست هي فقط الاختلال الحقيقي (الصدع) في نظريته للجاذبية. بل أيضاً لقد افترض ان قوة الجاذبية متولدة مع الكتلة. اكتشف اينشتاين بأن كل أشكال الطاقة لها تأثير الكتلة، أو تزن شيئاً. وبالنتيجة كــل أشكال الطاقة - ليس فقط كتلة - طاقة - يجب أن تكون مصادر الجاذبية.

ان التحدي الذي واجه اينشتاين كان في دمج أفكار النظرية النسبية الخاصــة في نظرية جديدة للجاذبية - في الوقت نفسه - لابتكار نظرية خاصــة للنسبية لوصف ما يبدو عليه العالم بالنسبة لشخص متعجل. لقد

كــان كما تأمل هذه التحديات العملاقة، مثل المصباح الذي يضيء في رأس اينــشتاين. فأدرك في – ما فاجأه وأبهجه – بأن الفرضيتين كانتا فرضية واحدة وهما متشابهتان.

الشيء الشاذ حول الجاذبية

من الضروري لفهم الرابطة ان نقيّم الصفة الغريبة للجاذبية. فكل الأجــسام بغض النظر عن كتلتها، تسقط بنفس الحالة. فحبة الفول تزيد ســرعتها فقــط أسرع من الشخص. هذا السلوك لاحظه أولاً في القرن الــسابع عشر العالم الايطالي غاليليو. أثبت غاليليو ذلك حين أخذ جسماً خفــيفاً، وآخــر ثقيلاً، ورمى بهما من قمة برج بيزا المعروف، وأعلن رسمياً ان كلاهما ضرب الأرض بنفس الزمن.

وعلى الأرض يكون التأثير واضحاً لأن الأجسام المسطحة تتباطأ أثناء مرورها خلال الهواء. ومع ذلك، أنجزت تجربة غاليليو في مكان حيث لا مقاومة للهواء لتعبث بالأشياء. ففي عام 1972، انزل آمر *ابولو 15* ديف سكوت مطرقة وريشة معاً. فارتطما بتربة القمر بالضبط بنفس الوقت.

ما هو الغريب حول هذه الظاهرة هو أنه وكما هو معروف عادة، الطــريق الذي يتحرك به الجسم هو رد فعل للقوة المعتمدة على كتلته. تخيل كرسياً خشبياً محملاً بثلاجة واقفة على مزلجة ثلج، حيث لا يوجد احتكاك ليربك الأشياء. وتخيل بأن أحداً ما يدفع الثلاجة والكرسي بنفس الــوقت. فالكرسي الذي يبدو أقل كتلة من الثلاجة سوف يتحرك بسهولة أكثر، وسيزيد سرعته.

ماذا يحدث، إذا عمل الكرسي والثلاجة بنفس قوة الجاذبية؟ ولنقل ان الــبعض يرميهما من سقف مبنى مؤلف من عشرة طوابق؟ ففي هذه

الحالــة – وكمـــا ســيتوقع غاليليو نفسه – لا يكون الكرسي أسرع من الــثلاجة. فبالرغم من الاختلاف الواضح لكتلتيهما، فالكرسي والثلاجة سيسرعان باتجاه الأرض وبالضبط بنفس المعدل.

الآن، ربما تعجب بالجاذبية المركزية. فتجارب الكتل الكبيرة هي قــوة أكبــر للجاذبية من الكتل الصغيرة، وتلك القوة تتناسب طردياً مع كتلــتها، لذا فالكتلة الكبيرة تسرع بالضبط بنفس معدل الكتلة الصغيرة. لكــن كــم تنتظر الجاذبية لتعمل على الكتلة؟ لقد كان العبقري اينشتاين يــدرك انها تعمل بطريقة طبيعية وبسيطة؛ بطريقة لها مضامين معمقة لنظرتنا للجاذبية.

تكافؤ الجاذبية والتسارع

لنقل ان فلكياً موجود داخل غرفة تتسارع 9.8 م/ثانية؛ والتي هي جاذبــية تــسارع تؤدي إلى سقوط أجسام قرب سطح الأرض. فكر في غرفة القيادة لسفينة فضاء حيث محركات الصاروخ بدأت بإطلاق النار. الآن قــل ان الفلكي أخذ مطرقة وريشة وأمسكهما بعيداً بنفس الارتفاع فــوق أرضية غرفة القيادة، ثم تركهما تنزلان بنفس الوقت. ماذا يحدث للمطــرقة والريــشة اللتــين ستلاقيان الأرض بالتأكيد؟ كيف تفسر هذه الحادثة رغم اعتمادها على وجهة النظر المميزة؟

افترض ان سفينة الفضاء تعتمد على الجاذبية لأي كتلة كبيرة مثل الكــواكب، والمطــرقة والريــشة بدون وزن. لذا إذا نظرنا إلى سفينة الفــضاء مــن الخارج بمنظار الأشعة السينية، نرى الهدفين معلقين بلا حــركة. ولما كانت سفينة الفضاء تتسارع باتجاه الأعلى، نرى أرضية غــرفة القيادة تصعد لتلاقي المطرقة والريشة. فمتى اصطدمتا بالأرض فانهما تنزلان في نفس الوقت.

لنقل ان الفلكي مصاب بفقدان الذاكرة ونسي بالكامل انه في سفينة فضاء. ونوافذ السفينة معتمة لذا فلا شيء يخبره أين هو؟ كيف تفسر ماذا يرى؟

حسناً، يدرك الفلكي أن المطرقة والريشة سقطتا تحت تأثير الجاذبية. وبعد كل ذلك، المطرقة والريشة بتأثير الجاذبية ستسقطان بنفس السرعة وتضربان الأرض بنفس الزمن (تجاهل مقاومة الهواء بالتأكيد). والفلكي مقتنع بأن الجاذبية مسؤولة عمّا رآه وبحقيقة ان قدميه تظهران ملتصقتين بالأرض بنفس الشكل الذي كانتا ستكونان عليه لو كان في غرفة على سطح الأرض. وبالحقيقة كل شيء جربه الفلكي يجعله غير قابل لتمييز ما يمكن أن يجربه لو كان على سطح الأرض.

وبالطبع كان اينشتاين مقتنعاً بانه تعثر في معرفة عمق الحقيقة حول الطبيعة. الجاذبية هي بالحقيقة غير قابلة للتمييز عن التسارع، وسبب هذا لا يمكن أن يكون ابسط. الجاذبية هي التسارع! هذا الإدراك والذي سماه اينشتاين مؤخراً "الفكرة الاسعد في حياتي" اقنعه بأن البحث عن نظرية الجاذبية والنظرية التي وصفت الحركة المتسارعة كان واحداً ونفس الشيء.

رفع اينشتاين قابلية التمييز بين الجاذبية والتسارع لمبدأ عظيم في الفيزياء، حيث عمّد مبدأ التكافؤ. ان هذا المبدأ يدرك ان الجاذبية هي ليست كبقية القوى، وهي ليست قوة حقيقية. ونحن نشبه الفلكي فاقد الذاكرة في سفينة الفضاء المعتمة. ولا ندرك بأن محيطنا يتسارع ولذا فعليه ايجاد طريقة أخرى لشرح حقيقة الأنهر الجارية إلى أسفل التلة، والتفاح الذي يسقط من الأشجار. والطريقة الوحيدة هي ابتكار قوة خيالية، كالجاذبية.

قوة الجاذبية غير موجودة!

إن فكــرة أن الجاذبــية هي قوة خيالية كالصوت الذي يرسل ابعد قليلاً. ففي اوضاعنا اليومية، نحن سعداء لنبتكر قوى تجعل ما نحس به له معنى فعلاً. ولنقل انك تسافر في سيارة تتسابق حول زاوية حادة في طــريق. أنــت تــبدو مندفعاً للخارج، ولشرح السبب، نبتكر قوة طرد مركزية. وبالحقيقة لا وجود لمثل هذه القوة.

كل الأجسام الضخمة، ممكن ان تكون في حركة تميل للحفاظ على السفر في سرعة ثابتة في خط مباشر[1]. وبسبب هذه الصفة التي تعرف بالقــصور الذاتي، فإن الأجسام غير المقيدة في السيارة – ومن ضمنها مــسافر مــثلك – تواصــل الــسفر في نفس اتجاه السيارة المتنقلة قبل وصــولها إلى المنحنى. ان المسار المتتبع من باب السيارة هو منحنٍ. ولا يجــب أن تتفاجأ عندها حين تجد نفسك معلقاً أمام باب السيارة الذي يلاقــيك أيــضاً بــنفس الطــريقة التي تلاقي بها أرضية سفينة الفضاء المعجلة المطرقة والريشة[2]. فلا توجد هناك قوة.

تــسمى قــوة الطرد المركزية قوة القصور الذاتي. ولقد ابتكرناها لــشرح حــركتنا لأننا نتجاهل الحقيقة، بأن محيطنا يتحرك بالنسبة لنا. لكــن، حقــاً حركتنا هي نتيجة قصورنا الذاتي، وميولنا الطبيعية لحفظ الحــركة بخــط مستقيم. لقد كانت نباهة عظيمة من قبل أينشتاين حين أدرك أن الجاذبية هي أيضاً قوة قصور ذاتي. سأل اينشتاين: "هل يمكن للجاذبــية والقصور الذاتي ان يكونا متماثلين؟" "هذا السؤال قادنا مباشرة لنظرية حول الجاذبية.

---

(1) لــيس ذلــك كله ملاحظاً على الأرض، حيث تبطئ قوى الاحتكاك الجسم المتحرك. على كل حال، انه الظاهر في الفراغ الخالي من الفضاء.

(2) تجدر الإشارة إلى ان التسارع لا يعني فقط التغير في السرعة. انه كذلك يعني تغيراً في الاتجاه. لذا فالسيارة تتسارع بانتقالها حول الانحناء بسرعة ثابتة.

وطبقاً لاينشتاين، نتدبر قوة الجاذبية لشرح حركة التفاح المتساقط من الأشجار، والكواكب الدائرة حول الشمس لأننا نتجاهل الحقيقة؛ بأن محيطـــنا تـــسارع بالنسبة لنا. في الحقيقة، تتحرك الأشياء فقط كنتيجة لقصورها الذاتي. قوة الجاذبية غير موجودة!

لكـــن انتظـــر دقـــيقة. إذا كانت الحركة التي ننسبها لقوة الجاذبية بالفعـــل نتيجة القصور الذاتي، فهذا يعني ان الأجسام الشبيهة بالأرض تطيـــر فقـــط عبـــر الفضاء في سرعة ثابتة بخطوط مستقيمة. هذا امر مضخم بكل براءة! الأرض تدور حول الشمس ولكن ليس بخط مستقيم، هـــل هذا صحيح؟ ليس ضرورياً. إن كل ذلك يعتمد على تعريفك للخط المستقيم.

الجاذبية هي فضاء ملتوٍ

الخـــط المباشر هو أقصر مسافة بين نقطتين. هذا صحيح بالتأكيد على ورقة مستوية من الورق. لكن ماذا عن السطح المنحني مثل سطح الارض؟ فكر في طائرة تطير أقصر مسافة بين لندن ونيويورك. ما هو المـــسار الذي تتبعه؟ يبدو للبعض انها تنخفض في الفضاء، من الواضح مـــسار منحنٍ. فكر في مسافر يشق طريقه بين نقطتين في أرض ذات تـــلال. فما المسار الذي يتبعه المسافر؟ يبدو للبعض الذين ينظرون نحو الأســـفل مـــن نقطـــة عالية جداً ان موجة الطبيعة لا ترى، وأن مسار المسافر يتموج نحو الخلف والأمام في أسلوب معظمه متعرج.

وخلافاً للتوقعات، أقصر مسافة بين نقطتين هي ليست دائماً الخط المباشـــر. وفي الحقيقة، انها فقط خط مباشر في نوع خاص من السطح المـــستوي. وعلـــى سطح منحنٍ شبيه بالأرض، فإن أقصر طريق بين نقطتين دائماً هو منحنٍ. وفي ضوء هذه النقطة، وسّع الرياضيون مفهوم

الخط المباشر ليحوي سطوحاً منحنية. وقد عرفوا الخط الجيوديسي بانه أقصر مسار بين نقطتين على أي سطح، وليس فقط على السطح المستوي.

وماذا بإمكان كل هذا أن يعمل مع الجاذبية؟ فيما يبدو انه الضوء. إنها صفة مميّزة للضوء بأنه يأخذ دائماً الطريق الأقصر بين نقطتين. مثلاً، إنه يأخذ أقصر مسار من هذه الكلمات التي تقرأها إلى عينيك.

الآن عُدْ بذاكرتك إلى ما سبق؛ إلى الفلكي الفاقد الذاكرة في تسارعُه بسفينة الفضاء المعتمة. منزعجاً من تجربته مع المطرقة والريشة، لذا يخرج ليزر ويضعه على رف في الجدار الأيسر لغرفة القيادة، وعلى ارتفاع 1.5 م. ثمّ يعبر إلى الجدار الأيمن لذات الغرفة، ومع قلم حبر عريض، يرسم خطاً أحمر على ارتفاع 1.5 م. أخيراً يشغل الفلكي جهاز الليزر فيصل شعاعه أفقياً عبر غرفة القيادة. يضرب شعاع الليزر الجدار الأيمن؟

يعتمد ذلك على المنطق، فبما أن الفلكي أطلق الشعاع افقياً، فسوف يضرب الجدار بالضبط على الضوء الاحمر. اليس كذلك؟ الجواب هو لا!

بينما ينتقل الضوء عبر غرفة القيادة، فإن أرض سفينة الفضاء تشمل كل ما يلزم الوقت المضخم بمحركات الصاروخ. والنتيجة، الأرض تتحرك بثبات باتجاه الأعلى لتلتقي الشعاع. وكلما اقترب الضوء أقرب وأقرب إلى الجدار الايمن، أصبحت الأرض أقرب وأقرب للضوء، أو من وجهة نظر الفلكي، الضوء أقرب وأقرب للأرض. وبوضوح، عندما يضرب الشعاع الجدار الايمن، فإنه يضربه تحت الخط الاحمر. ويرى الفلكي شعاع الضوء ينحني بثبات باتجاه الاسفل عند عبوره غرفة القيادة.

ولا تنسَ ان الضوء يأخذ دائماً أقصر مسافة بين نقطتين. وأقصر مـــسافة على جسم مستوٍ هي خط مباشر، بينما أقصر مسافة على جسم مـــنحنٍ هـــي خطّ منحنٍ. ماذا بعدئذٍ؟ هل نصنع نحن الحقيقة بأن شعاع الضوء يتبع مساراً منحنياً عبر غرفة قيادة سفينة الفضاء؟ هناك احتمال واحـــد مفسر: وهو أن الفضاء داخل غرفة سفينة الفضاء هو في بعض الأحيان منحنٍ.

والآن أنت تجادل ان هذا خدعة متسببة بتسريع سفينة الفضاء. والنقطة الحاسمة على كل حال، ان ذلك الفلكي لا طريقة لديه لمعرفة انـــه فـــي سفينة فضاء متسارعة. إنه فقط يختبر الجاذبية في غرفة علـــى سطح الأرض. لذا كان التسارع والجاذبية غير قابلين للتمييز. هـــذا هـــو مـــبدأ الـــتكافؤ. وما توضحه تجربة شعاع الليزر - بهذا يظهـــر القـــدرة الهائلة لمبدأ التكافؤ - هو أن ذلك الضوء في وجود الجاذبـــية يتـــبع مساراً منحنياً أو بكلمات أخرى الجاذبية تلوي مسار الضوء.

ان الجاذبـــية تلوي مسار الضوء لأن الفراغ - بوجود الجاذبية - منحنٍ بعض الشيء. وبالحقيقة تتحول الجاذبية لتكون فضاء منحنياً.

ومـــاذا بالـــضبط نعني بالفضاء المنحني؟ انه من السهل ان نرى ســـطحاً منحنياً شبيهاً بسطح الأرض. لكن سبب ذلك هو انها تملك فقط اتجاهـــين، أو بعـــدين شمال - جنوب، وشرق - غرب. والفضاء معقد أكثر بقليل من ذلك. فبالإضافة للابعاد الثلاثة الفراغية، شمال - جنوب، شرق - غرب، فوق - تحت، فهناك بعد زمني واحد، ماضٍ - مستقبل. وكمـــا بيّن اينشتاين، إن المكان والزمان مظهران للشيء نفسه، لذا فإنه من الدقة أكثر أن نفكر بهما كأربعة أبعاد "مكان - زمان".

الـــبعد الرابع للزمان - المكان من المستحيل بالنسبة لنا رؤيته منذ ان عـــشنا فـــي عالم ثلاثي الأبعاد. وهذا يعني بأن الانحناء أو الالتفاف

للــبعد الرابع زمان – مكان تستحيل رؤيته. لكن هذا ما تقصده الجاذبية بانها: الالتفاف للبعد الرابع زمان – مكان.

ولحسن الحظ، نستطيع الحصول على بعض الافكار لما يعنيه هذا. تصور سباقاً للنمل، حيث يسرع النمل على سطح ذي بعدين على منصة بهلوانية. فالنمل يرى فقط ماذا يحدث على السطح، ولا يملك مفهوم ما فــوق الفــضاء وتحت المنصة كالبعد الثالث. والآن تصور – أن تكون جزءاً من البعد الثالث – وضع كرة مدفع على المنصة. فالنمل يكتشف أنـــه عـــندما يقترب من كرة المدفع، فإن مساره سوف يتغير عن اتجاه الكـــرة. ومـــن المعقـــول تماماً أن يشرح النمل حركته بالقول: ان كرة المدفع هي جهد قوة جذب عليه، وربما يسميها قوة الجاذبية.

علـــى كل حال، فالنعم الالهية لافضلية البعد الثالث، اوضحت ان النمل مخطئ. فلا توجد قوة تجذبه نحو كرة المدفع. وبدلاً من ذلك، فإن كـــرة المدفـــع أشبه بالوادي في منصة البهلوان، وهذا سبب تغير اتجاه مسارات النمل نحو المنصة.

أدركـــت عبقرية اينشتاين اننا في موضع مشابه للنمل على منصة الـــبهلوان. ومـــسار الأرض ينـــتقل عبر الفضاء ملتوياً باتجاه الشمس، كاكثـــر الكـــواكب فـــي مدار دائري. ويجدر بنا ان نشرح هذه الحركة بالقول إن الشمس تبذل جهد قوة الجاذبية على الأرض. وعلى كل حال، فنحن مخطئون. إذا استطعنا رؤية الأشياء من منظور الأبعاد الأربعة – وهو شيء من المستحيل أن نقوم به مثلما هو الأمر بالنسبة للنمل، لنرى الأشـــياء مـــن البعد الثالث – فسوف نرى أنه لا يوجد هناك بديل مثل القـــوة. وبـــدلاً مـــن ذلك صنعت الشمس انخفاضاً أشبه بالوادي في الابعاد الاربعة الزمان – المكان في الفراغ، والسبب ان الأرض تتبع مـــساراً قـــريباً من المسار الدائري حول الشمس لكونه أقصر مسار عبر الفضاء الملتوي.

ولا يــوجد هــناك قوة جاذبية. فالأرض تتبع الخط المباشر عبر مكان – زمان. وبسبب وجود الزمان – المكان قرب الشمس فإنها تلوي ذلــك الخط، أو أن الخط الجيوديسي يحدث لكونه قرب المدار الدائري. وطبقاً للفيزيائيين ريموند شياو واشيل سبيليوتوبوس: "في النسبية العامة، لا يوجد *قوة جاذبية*". فما نربطه بشكل طبيعي بقوة الجاذبية على جسيمة ليس بقوة على الإطلاق: فإن الجسيمة تنتقل ببساطة عبر المسار الممكن *الأكثر مباشرة* في زمان – مكان منحنٍ".

يسافر الجسم عبر المسار الممكن *الأكثر مباشرة* عبر زمان – مكان فــي سقوط حر. وحيث انه في سقوط حر، فإنه يجرب حالة عدم الجاذبية. والأرض في سقوط حر حول الشمس. وبالنتيجة، لا نشعر بجاذبية الشمس علــى الأرض. والفلكيون في المحطة الدولية الفضائية هم أيضاً في سقوط حر حول الأرض. وبالنتيجة لا يشعرون بجاذبية الأرض(3).

تبرز الجاذبية فقط عندما يمنع الجسم من متابعة حركته الطبيعية. فحركتنا الطبيعية هي سقوط حر باتجاه مركز الأرض. والأرض تقاومنا وتجعلــنا نــشعر بقوتها على اجسامنا والتي نفسّرها بالجاذبية. إن قوة الطــرد المركزية هي فقط ما نشعر به عندما تمنعنا السيارة من الحركة الطبيعــية فــي خط مباشر، فقوة الجاذبية هي ما نشعر به عند المحيط الذي يمنعنا من متابعة حركتنا الطبيعية على طول الخط الجيوديسي.

---

(3) معظــم الــناس يفترضون ان الفلكيين يدورون في فلك حول الأرض بدون وزن بــسبب عــدم وجود جاذبية في الفراغ. على كل حال، بارتفاع 500 كيلومتــر أو أكثر من محطة الفضاء الدولية، الجاذبية هي 15% أقل منها علــى ســطح الأرض. والــسبب الحقيقي لكون الفلكي بدون وزن هو أن المــركبة الفضائية في حالة سقوط حر بما يشبه وجود شخص في المصعد عــندما يــنقطع الكابل. الفرق هو انهم لا يصطدمون بالأرض، لماذا؟ لأن الأرض كــروية وبسرعة سقوطهم على سطح الأرض، فإن انحناء السطح يبدو مبتعداً عنهم. لذلك فسقوطهم يكون في دائرة.

ربمـــا يبدو انه ليس من الضروري تعقيد رؤية الأجسام الضخمة تتحرك تحت تأثير قصورها الذاتي خلال الزمان – المكان المزيف بدلاً من الحركة البسيطة تحت تأثير القوة الكونية للجاذبية. على أي حال، إن الــصورتين ليستا متماثلتين بالنسبة للنجمة فإن الشيء الذي زيف ليس مجــرّد مكان بل زمان – مكان للنسبية الخاصة. والصورة لذلك تساهم آلــياً فـــي التفاعل الغريب بين الزمان والمكان الضروري للحفاظ على سرعة الضوء ثابتة. فنظرة اينشتاين تتوقع أشياء عديدة.

فكر بالنمل على المنصة البهلوانية. فهناك أشياء كثيرة تستطيع ان تعملهـــا مع المادة على المنصة بدلاً من ضغطها بكتلة ثقيلة أشبه بكرة المدفـــع. فمثلاً تستطيع هز زاوية واحدة صعوداً ونزولاً، وهذا سيسبب تمـــوجاً في نسيج ينتشر خارجاً عبر المنصة أشبه بالموجات على سطح بـــركة. وبـــنفس الطريقة، ان تذبذب الكتلة الكبيرة أشبه بثقب اسود في فـــضاء يـــولد تموجات في نسيج الزمان – المكان. فمثل هذه الأمواج الجاذبـــية لـــم تكتشف مباشرة حتى الآن. لكن وجودها هو توقع وحيد لنظرية اينشتاين.

وحقـــيقة ان الأمواج تتأرجح خلال الزمان – المكان تعتبر المكان لـــيس فراغاً، بل هو وسط سلبي تخيله نيوتن. وبدلاً من ذلك، يمكن أن يكون وسطاً مع صفات حقيقة. فالمواد لا تجذب (تشدّ) بسهولة إلى مواد أخـــرى عبـــر فـــضاء فارغ؛ كما تخيل نيوتن. فالمادة تشوه الزمان – المكان، وان هذا الزمان – المكان المشوه بدوره يؤثر على مادة أخرى. وكما أوضح ذلك جون ويلير بقوله: "المادة تخبر الزمان – المكان كيف يزيف، والزمان – المكان المزيف يخبر الكتلة كيف تتحرك".

إن تـــزييف الـــزمان – المكان سببه جسم ضخم يحتاج إلى وقت لينتشر إلى كتلة أخرى، كد! أن تشويه منصة البهلوان بكرة مدفع أخرى يحـــتاج إلـــى الـــوقت ليصل إلى زوايا المنصة. وبسبب هذا، فالجاذبية

والزمان – المكان المزيف يعملان فقط بعد تأخير، في توافق تام مع حد السرعة الكونية الموجودة بسرعة الضوء.

إن حقـيقة ان الـزمان – المكـان له بعض النوعيات للوسط الحقيقـي أشـبه بالهواء أو الماء الذي له مضامين للاجسام الكبيرة الـشبيهة بالـنجوم والكواكب. وبدورانها على محاورها، فهي فعلياً تعيق الزمان – المكان حولها. قاست وكالة ناسا التأثير، والمعروف بأنـه اعاقـة الشكل، مع تجربة فضاء دوران الفلك المسمى جاذبية المجـس B. إن اعاقـة الـشكل هي صغيرة في حالة الأرض، لكن الانغمـاس فـي هذه الحالة يكون بتسريع دوران الثقب الأسود. مثل جـسم يجلس في وسط إعصار كبير لدوران الزمان – المكان. واي واحد يسقط في الثقب الأسود سينغمس مع الإعصار حيث لا قدرة في الكون يمكن أن تواجهه (تقاومه).

وصفة النسبية العامة

جديـد اينـشتاين حـول الجاذبية جدير بالاهتمام. فالكتل – مثلاً، الـنجوم كالـشمس – تـزيّف الـزمان – المكـان. والكتل الأخرى – كالكـواكب مـثل الأرض – تطيـر بحرية تحت تأثير قصورها الذاتي خـلال الزمان – المكان المزيف. والمسارات التي تتبعها تسمى المسار الجيوديـسي الـذي ينحنـي لوجود مسارات محتملة أقصر في المكان المزيف. هذا كل شيء. وهذه هي النظرية النسبية العامة.

وكمـا يقـال الشيطان يكمن في التفاصيل. فنحن نعرف كيف ان الجـسم الكبيـر مثل كوكب يتحرك في فضاء مزيف يأخذ أقصر مسار ممكـن. لكـن كم كتلة تشبه الشمس في الزمان – المكان المزيف؟ لقد احـتاج اينـشتاين إلى أكثر من عقد ليجدها، والتفصيلات ستملأ الكتب المنهجـية الأكبـر من حجم دليل الهاتف. على كل حال، إن نقطة بداية

اينـــشتاين للنظرية النسبية العامة هي ليست صعبة التقييم. انها لا شيء من مبدأ التكافؤ.

لنتذكر مرة أخرى المطرقة والريشة في المركبة الفضائية المعتمة. وبالنـــسبة للفلكـــي، ســـيبدو أنهما تسقطان على الأرض بفعل الجاذبية. وســـوف يـــبدو بالنـــسبة لأي شخص يرى التجربة من خارج المركبة الفـــضائية ان المطـــرقة والريشة معلقتان في وسط الهواء، وان أرضية غرفة القيادة تتسارع نحو الأعلى لملاقاتهما. انهما بلا وزن تماماً.

هذه الملاحظة هي مفتاح مهم. والجسم الساقط بحرية في الجاذبية يشعر بانعدام الجاذبية. تصور انك في مصعد، وشخص ما قطع الحبل. فبينما يسقط وأنت بلا وزن ستشعر بانعدام الجاذبية.

"اتـــى الاختراق فجأة في يوم من الأيام". هذا ما كتبه اينشتاين عام 1907. "كـــنت جالـــساً على كرسي في مكتب براءات الاختراع ببرن. وفجـــأة صدمتني الفكرة: إذا سقط رجل سقوطاً حراً، فلن يشعر بوزنه. ارجعني ذلك للخلف. هذه التجربة الفكرية البسيطة أوجدت لدي انطباعاً عميقاً وقادتني إلى نظرية الجاذبية".

فما أهمية السقوط الحر لجسم بدون جاذبية؟ حسناً إذا جربت انعدام الجاذبـــية – أو التـــسارع حيث يتشابه الاثنان – عندئذٍ فسلوكه يوصف كاملاً بالنظرية النسبية الخاصة لاينشتاين. هنا النقطة الحاسمة للاتصال – الجـــسر الـــرابط العالـــي الاهمـــية – بين النظرية النسبية الخاصة والنظـــرية الجاذبية لاينشتاين والملاحظة بأن الجسم الساقط سقوطاً حراً لا يـــشعر بوزنه ولذلك يوصف بالنسبية الخاصة تقترح طريقاً مزدحماً لـــتمديد النـــسبية الخاصة لجسم يجرب الجاذبية. فكر بصديق يقف على الأرض وبوضـــوح جـــداً يجـــرب الجاذبية بضغط قدمه على الأرض. يمكـــنك أن تراقب صديقك من أي نقطة كانت، من مكان معلق فوق أو تحـــت شـــجرة أو من طائرة تطير. ولكن وجهة نظر واحدة تجهز دفعاً

كبيــراً. إذا تــصورت أشياء من وجهة نظر انها في سقوط حر، عندئذٍ تكون بلا وزن، خاضعة للاّ تسارع. وحيث انك لا تشعر بالتسارع، فهذا يبرر استعمالك النظرية النسبية الخاصة لوصف صديقك.

لكن النسبية الخاصة تتعلق بما يبدو عليه العالم بالنسبة للناس الذين يتحــركون فـــي ســـرعة ثابتة نسبة لبعضهم البعض، وصديقك يتحرك متسارعاً إلى الأعلى نسبة لك. هذا صحيح، لكن ان لم تفكر بالحسابات المـــرهفة تـــستطيع ان تتصور صديقك يسافر بسرعة ثابتة، لمدة ثانية، وبعدها بسرعة أكبر قليلاً للثانية اللاحقة، وهكذا. وهذا ليس متقناً، ولكن يمكـــنك ان تقـــرِّب تـــسارع صـــديقك كسلسلة من الخطوات السريعة المتـــزايدة. فلكل سرعة تستعمل النسبية الخاصة لتخبرك ما الذي يحدث للمكان والزمان لصديقك.

فطبقاً للنسبية الخاصة، الوقت يتباطأ لحركة المراقب. ولذا فالزمن يتباطأ لصديقك المتحرك نسبة لك. لكن انتظر، صديقك يتحرك نسبة لك لأنـــه يجرب الجاذبية. ويتبع ذلك، ان الجاذبية تؤخر الزمن! وهذا يجب أن لا يكـــون أكثـــر من مفاجأة. إذاً، الجاذبية ببساطة هي زيف الزمان والمكـــان، وهـــذا هو السبب في أننا إذا ما جربنا الجاذبية، فإن مكاننا وزماننا يجب أن يكونا مشوهين.

والـــشيء الآخـــر الذي يتبع عند التفكير بصديقك الواقف على سطح الأرض، هـــو أنـــه إذا كانت الجاذبية اقوى – لنقل أن صديقك واقف على كـــوكب أضخم – فإن سرعته بالنسبة لك في السقوط الحر ستتسارع أكثر. فطبقاً للنسبية الخاصة، فكلما تحرك الشخص بشكل أسرع، كلما تباطأ وقته. وبالنتـــيجة، كلمـــا كانت الجاذبية أقوى بالنسبة لشخص ما، كلما تباطأ وقته أكثـــر. مـــا يعنيه هذا هو أنك إذا كنت تعمل في مكتبَ بالطابق الأرضي، فـــستعمّر أكثر من زملائك العاملين في الطابق العلوي. لماذا؟ لأنك بقربك من الأرض فأنت تسحب بقوة أكثر، ويتباطأ الزمان في جاذبية أقوى.

وجاذبية الأرض هي ضعيفة جداً. فبعد كل هذا، تستطيع أن تمسك ذراعـــك بمواجهتك، ولا تستطيع جاذبية الأرض ان تدفعك لترميك. ان ضـــعف جاذبية الأرض يعني ان الفرق بمعدل جريان الزمن بين أسفل واعلـــى الطوابـــق للمبنى يستحيل قياسه تقريباً. والمشهد المفتوح، مع الاختين التوأمين المعمرتين بمعدلات فرق ضخمة في مكان عملهما في ناطحـــة الـــسحاب، يبدو أنه مبالغ فيه. ولا يهم ذلك، فهناك أماكن في الكون ذات جاذبية قوية جداً. كسطح نجم القزم الأبيض، حيث الجاذبية فـــيه اقـــوى من الشمس. ان نظرية اينشتاين للجاذبية تتوقع بذلك الزمن لهـــذه النجوم التي تمر ابطأ قليلاً. وإن اختبار هذا التوقع يبدو مستحيلاً. علـــى كـــل حـــال، الطبيعة ملائمة جداً لتجهزنا "بساعات" على سطوح الاقزام البيضاء. والساعات بالحقيقة هي ذرات.

والذرات تعطي ضوءاً. والضوء فعلياً هو موجة تتموج إلى أعلى وأســـفل شـــبيهة بموجة الماء. والذرات مثل الصوديوم أو الهيدروجين تعطـــي ضـــوءاً وحيداً، متموجاً لعدد مميز من المرات بالثانية الواحدة. هـــذه الـــتموجات يعتقد انها مثل دقات الساعة. (وبالحقيقة الثانية تعرف بدلالة تموجات الضوء المعطى بنوع خاص من الذرات).

كـــيف تـــساعدنا هذه الصفة للذرات في رؤية تأثير الجاذبية على الـــزمن؟ حـــسناً، مـــع مناظيرنا نستطيع رفع الضوء من الذرات على الاقزام البيضاء. ونستطيع مقارنة عدد التموجات بالثانية للضوء الخارج مـــن الهيدروجـــين علـــى القزم الأبيض، مع عدد التموجات لكل ثانية للهيدروجـــين علـــى الأرض. وما نجده هو أن هناك تموجات قليلة لكل ثانية في الضوء للقزم الأبيض. حيث يكون الضوء أكثر بطئاً. والزمن يجري أبطأ[4].

---

(4) لاسباب تقنية، هذا التأثير يعرف بالازاحة الحمراء للجاذبية.

نحـــن نرى تأكيداً مباشراً لنظرية اينشتاين للنسبية العامة. وهناك نجـــوم تُعـــرف بنجوم اقوى من تلك الاقزام البيضاء. وكنتيجة للجاذبية القوية، فالزمن على سطح نجم النيوترون يتقدم ببطء أكثر بمرة ونصف منه على الأرض.

نتائج النسبية العامة

تأخـــر الـــزمن هو أحد التوقعات الجديدة لنظرية اينشتاين للنسبية العامة. وكما لمسنا ذلك سابقاً، هناك أمواج جذبية نعرف أنها موجودة، لأن الفلكيـــين راقـــبوا ازواج النجوم المحتوية على نجم نيوترون واحد علـــى الاقل، وهي تفقد الطاقة عند تسلسلها باتجاه بعضها البعض. هذه الحيـــرة حـــول فقـــدان الطاقـــة يمكن شرحها إذا كانت خارج الأمواج الجذبية.

الـــسباق الآن هـــو لاكتشاف الأمواج الجذبية مباشرة بالتناوب في مكـــان مـــتمدد ومضغوط. وصممت التجارب لاكتشاف ذلك باستعمال عملاق *المسيطرين* بطول كيلومترات عديدة. *والمسيطرون* مصنوعة من الـــضوء، لكـــن الفكرة بسيطة، أي اكتشاف التغير في طول المسيطرين حين تمر تموجات الموجة الجذبية.

إن توقعاً آخر لنظرية اينشتاين، مر لاحقاً بدون تعليق، وسببه هو الـــتواء الضوء بتأثير الجاذبية. وسبب ذلك الالتواء بالتأكيد هو الضوء الـــذي يحـــاور التـــضاريس المزيفة للزمان - المكان الرباعي الابعاد. وبالرغم من ان قانون نيوتن للجاذبية لا يتوقع بهذا التأثير، فإنه يعمل إذا دمـــج مع فكرة النسبية الخاصة بأن كل أشكال الطاقة، بما فيها الضوء، لهـــا تأثيـــر كبير. وكما ان الضوء يمر من جسم هائل كالشمس، فإنها تشعر بشدة الجاذبية والتوائها من دورتها.

وبالتأكــيد، فــإن النــسبية الخاصة غير متوافقة مع قانون نيوتن للجاذبــية. لذا فإن توقع التواء الضوء أُخذ على اعتبار قبضة من الملح. وبالحقيقة النظرية – النسبية العامة – الصحيحة تتوقع بأن مسار الضوء سيلتوي مرتين على الأكثر.

العامل المميز لهذين العملين هو لتسليط الضوء على شيء صعب حــول مبدأ التكافؤ. وبالعودة إلى تجربة الفلكي الذي اطلق الليزر أفقياً عبر مركبة الفضاء ولاحظ ان شعاع الالتواء باتجاه الاسفل. لأنه لم تكن هــناك طريقة يمكن أن يعرفها فلم يجرب الجاذبية في غرفة على سطح الأرض، لقــد كــان ممكناً ان نستنتج أن الجاذبية تلوي مسار الضوء. حــسناً، هــناك القليل من الكذب. وأنت ترى ان من الممكن للفلكي ان يخبر ما إذا كان داخل صاروخ أو على سطح الأرض.

ففي الصاروخ المتسارع، القوة التي تلصق قدم الفلكي إلى الأرض تسحبه عمودياً باتجاه الاسفل، عندما يقف في غرفة القيادة. وعلى سطح الأرض، فمــن المهــم معرفة مكان وقوف الفلكي لأن الجاذبية تسحب الأشــياء باتجاه مركز الأرض. وبالنتيجة، الجاذبية تسحب باتجاه واحد فــي انكلتــرا، لكن بالاتجاه المعاكس في نيوزلندة؛ بالنسبة إلى انكلترا، فالنيوزلــنديون هــم مقلوبون رأساً على عقب والعكس بالعكس. واتجاه السحب للجاذبية لا يتغير كثيراً جداً من جانب واحد من غرفة لاخرى. ولا يهــم ذلك، فمع أجهزة قياس حساسة بما فيه الكفاية، يستطيع فلكينا دائمــاً كــشف التغيــر وإخبارنا ما إذا كان داخل صاروخ متسارع في الفضاء أو على سطح الأرض.

وبالتأكــيد، إن ابطــال مبدأ التكافؤ وجلب الصرح الكامل للنسبية العامــة يهــبط للاســفل. وعلى كل حال، لبناء نظرية الجاذبية يصعب تطبيق مبدأ التكافؤ على احجام صغيرة من المكان، كاحجار موجودة في الفضاء، ولا نستطيع الكشف عن التغيرات في اتجاه الجاذبية.

ما الذي حصل مع نظرية اينشتاين لتتوقع مرتين بانحراف الضوء لنـــيوتن؟ لقـــد أسسنا ان شعاع الليزر سيكون منحنياً للاسفل باعتراضه للغرفة على سطح الأرض، وهذه الكمية تُوجد تقريباً ما تتوقعه الجاذبية النيوتـــرونية. الآن تـــصور بأن الغرفة هي في حالة سقوط حر، وتذكر عـــدم وجـــود جاذبـــية. لذا فشعاع الضوء سينتقل أفقياً عبر الغرفة ولا يلتوي على الإطلاق. لكن ليست كل أجزاء الغرفة هي في حالة تامة من الـــسقوط الحـــر. فلأن جاذبية الأرض تجذب في اتجاه واحد من زاوية واحـــدة للغرفة وفي اتجاه آخر من الزاوية الأخرى، فالجاذبية لا تلغى تمامـــاً كسقوط الغرفة في الهواء. وبسبب هذا، ما يراه الفلكي من شعاع الـــضوء المنحني للاسفل هو بنفس المقدار تقريباً في الغرفة على سطح الأرض. فالتأثيـــران أضـــيفا معـــاً ليعطيا ضعفي الضوء الملتوي الذي توقعت به نظرية الجاذبية لنيوتن مع النسبية الخاصة.

لذا فإذا مرّ الضوء القادم من نجم بعيد بالقرب من الشمس بطريقه إلى الأرض، فمساره سيلتوي ضعفي ما توقع به نيوتن. مثل هذا التأثير سيـــسبب ازاحـــة موضع النجم قليلاً نسبة للنجوم الأخرى. علاوة على استحالة رؤيته في وضح النهار، فمن الممكن ملاحظته خلال الخسوف الكلـــي للقمـــر عندما يكون بقعة مضيئة على قرص الشمس. مثل هذا الخـــسوف حـــدث فـــي 1919/5/29، وانـــتقل الفلكي الانكليزي ارثر ادينغـــتون لجزيرة برنسايب في آخر ساحل غرب افريقيا ليراه. وأكدت صـــوره أن ضـــوء النجم بالحقيقة كان منحرفاً بجاذبية الشمس بالكمية المتوقع بها من خلال النظرية النسبية العامة.

ملاحظـــات ادينغتون هي التي جعلت اينشتاين يُعرف بأنه "الرجل الـــذي اثـــبت خطأ نيوتن". لكنها لم تكن توقعات ناجحة للنسبية العامة. فنيوتن وضح نظرياً بأن الكوكب يدور حول الشمس ليس في دوائر لكن في دوائر ذات شكل قطع ناقص، كدوائر مسحوقة. وبرهن بأن ذلك كان

نتيجة مباشرة لحقيقة أن قوة الجاذبية تسقط في قوة تسمى قانون المربع العكـــسي. وبكلمات أخرى، عندما تكون مرتين ابعد عن الشمس، فقوة الجاذبية ستكون أضعف بأربع مرات، وإذا كنت أبعد بثلاث مرات فإن قوة الجاذبية أضعف بتسع مرات، وهكذا.

النسبية تغير كل شيء. كبداية، كل أشكال الطاقة ليس فقط كتلة – طاقـــة – تـــولد الجاذبـــية. والجاذبية نفسها هي شكل من أشكال الطاقـــة. وفكر في منصة البهلوان المزيفة وكم مقدار الطاقة المرنة التـــي تحـــتويها. وحـــيث ان الجاذبـــية هي شكل من أشكال الطاقة، فجاذبـــية الـــشمس نفـــسها تصنع جاذبية! انه تأثير ضعيف، ومعظم جاذبية الشمس ما تزال تأتي من كتلتها. والقرب من الشمس يعني ان الجاذبـــية قـــوية، فهناك مساهمة صغيرة تضاف إلى الجاذبية نفسها. وبالنتـــيجة كل جسم يدور هناك يشعر بجاذبية أكبر من المتوقع من قانون التربيع العكسي.

الآن هـــذه هي النقطة، فالكواكب تتبع مدارات قطع ناقص فقط إذا كانـــت هي مشدودة بقوة مطيعة لقانون التربيع العكسي للقوة. وهذا كان اكتشاف نيوتن. والنسبية تتوقع بأن القوة لا تطيع قانون التربيع العكسي. وبالحقيقة، هناك تأثيرات أخرى تسبب التحول عن الجاذبية النيوتنية مثل حقـــيقة أن الجاذبـــية تأخـــذ وقتاً لتنتقل عبر الفضاء. فالجاذبية لكوكب متحـــرك تعتمد على موضعه في أية لحظة، وبسبب ذلك لا يوجه باتجاه المركـــز الميت للشمس. والنتيجة هي ان الكواكب لا تتبع مسارات قطع نـــاقص متكررة لكن بالاحرى مسارات قطع ناقص تتغير اتجاهاتها في الفـــضاء، فـــي نموذج شكل الوردة. هذا غير قابل للملاحظة بعيداً عن الشمس. فالتأثير الأكبر هو عندما يكون قريباً، أي عندما تكون الجاذبية هي الأقوى.

وبـــلا شك، يوجد هناك شذوذ حول مدار الفلك الاقرب، عطارد.

فلـــبعض الـــوقت قـــبل نشر اينشتاين نظرية الجاذبية عام 1915 أُربك الفلكـــيون بحقيقة ان مدار عطارد يتبع تدريجياً اثر نموذج شكل الوردة فـــي الفضاء. هذا التأثير هو بسبب السحب الجذبي للزهرة والمشتري. فالـــشيء الـــشاذ علـــى كل حال هو ان مدار عطارد سيبقى له اثر من نمـــوذج شكل الوردة؛ حتى بغياب وجود كوكبي الزهرة والمشتري. انه تأثيـــر ضعيف. على الرغم من ان عطارد يدور حول الشمس مرة كل 99 يـــوماً، ونموذج شكل الوردة يعقب فقط مرة كل 3 ملايين سنة. هذا هـــو بالضبط ما توقعه اينشتاين. وباستخدام النسبية العامة، استطاع ان يشرح تفاصيل مدار عطارد. وحتى الآن يعتبر توقعاً ناجحاً آخر، وليس هناك ادنى شك بأن اينشتاين اكتشف النظرية الصحيحة للجاذبية[5].

غرائب النسبية العامة

النـــسبية العامـــة هي نظرية انيقة ورائعة. ومع ذلك، فهي صعبة التطبـــيق في الاوضاع الحقيقية. كايجاد زيف الزمان – المكان المسبب للتوزيع المعطى للكتلة. والسبب هو ان النظرية نوعاً ما معممة. فالمادة تخبـــر الزمان – المكان كيف يزيف. وعندئذٍ الزمان – المكان المزيَّف يخبر المادة بكيفية الحركة. والمادة عندما تتحرك فقط، تخبر الزمان – المكـــان بكيفـــية تغييـــر زيفه، وهكذا. هناك نوع من الدجاج والبيض المتناقضين في قلب هذه النظرية. والفيزيائيون سموها *اللاخطية*، وعدم الخطية بالنسبة للنظريين هي حبة بندق قاسية ليكسروها.

توضـــيح واحد للاّخطية اشير إليه مسبقاً بأنه حقيقة الجاذبية، وهو مصدرها. حسناً إذا استطاعت الجاذبية صنع جاذبية اكبر، فإن الجاذبية

(5) او علـــى الأقـــل نظرية قابلة للعمل لوقت، بما أن النسبية العامة غير معتقد انها الكلمة الاخيرة حول الجاذبية.

الزائدة تستطيع صنع جاذبية أكثر بقليل وهكذا. ولحسن الحظ، فالجاذبية ضعيفة جداً، لذا فمن غير الطبيعي للجسم الضخم ان يسلك سلوكاً حسناً، لكن ليس دائماً.

فبعض النجوم الكبيرة جداً تنهي حياتها بطريقة غريبة. عادة، يمنع النجم اصطدامه بجاذبيته بضغط الغاز الساخن في داخله المدفوع باتجاه الخارج. لكن هذا الغاز المدفوع للخارج يولد تجمعه حرارة. وبينما ينفد كـــل الوقــود الممكن، فإنه ينكمش. وعادة بعض اشكال الضغط تتدخل لــصنع قزم ابيض أو نجم نيوتروني، عالي الكثافة كجمرة هائلة. وعلى كل حال، فإذا كان النجم هائلاً جداً وجاذبيته قوية جداً، فلا شيء يستطيع ايقـــاف الـــنجم من الانكماش نحو الداخل لهذه النقطة. وابعد مما يعرفه الفيـــزيائيون، فإن مثل هذه النجوم ستزول من الوجود، وتترك جاذبيتها خلفها.

فما قلناه حول وجود الثقوب السوداء ربما يكون الأكثر غرابة لكل الـــتوقعات للنسبية العامة. فالثقب الأسود هو منطقة زمان – مكان حيث الجاذبـــية قوية جداً فيها، فحتى الضوء لا يستطيع الهروب منها. وهكذا تـــبدو معـــتمة. ومـــنطقة زمان – مكان هي العبارة التالية، لكتلة النجم الفاني.

كـــيف تستطيع ان تملك جاذبية بدون كتلة؟ فالجاذبية تبرز ليس فقـــط مـــن الكتلة بل من كل أشكال الطاقة. ففي حالة الثقب الأسود تكوّن جاذبيته جاذبية أكبر وبدورها تكوّن جاذبية اكبر... لذا فالثقب يعـــيد توليد نفسه مثل رجل يثبت نفسه وسط الهواء بخيوط حذائه. فمن وجهـــة نظـــر الزمان – المكان فالثقب الأسود ثقب بشكل حرفي. بينما الـــنجم مـــثل الـــشمس يوجد حفرة في محيط الزمان – المكان، والثقب الأسود يوجد بئر عميقة عند سقوط المادة لكن لا نستطيع مطلقاً الهروب منها مرة أخرى.

لاحــظ الفيزيائـــي الحائــز علـــى جائـــزة نـــوبل سبرامانيان شاندراسيخار: "الثقوب السوداء في الطبيعة هي أكثر الأهداف التامة العينية هناك في الكون". فالعناصر الوحيدة في تركيبها هي مفاهيمنا للزمان – المكان(6).

وبــسبب جاذبيتها القوية جداً تظهر الثقوب السوداء التأثير الأكبر للنــسبية العامــة. وتتم احاطتها بسطح يُعرف بحادثة الأفق. وهذا يحدد نقطـــة الـــلا عودة للأهداف التائهة والقريبة جداً من الثقب الأسود. وإذا تحــركت بالقــرب مـــن حادثة الأفق، فسترى خلف رأسك ان الضوء ســيلتوي حول الثقب قبل الوصول لعينيك. فإذا استطعت بطريقة ما ان تحـــوم خارج حادثة الأفق، فالزمن سيجري ببطء بالنسبة لك وستستطيع نظـــرياً مـــشاهدة المستقبل الكامل للكون المضيء الذي مر عليك أشبه بسينما من الماضي إلى الامام.

والحقيقة ان الزمن يجري بشكل أكثر بطئاً في جاذبية قوية للثقب الاســود منه في مكان آخر في الكون. تخيل انك بعيد عن الثقب الأسود وعـــندك صديق يتباطأ بالقرب منه. وبسبب الفرق الملاحظ في جريان الـــوقت بالنسبة لكليكما، بينما أنت تسافر من الاثنين إلى الجمعة، يتقدم صديقك فقط من الاثنين للثلاثاء. وهذا يعني إذا وجدت طريقة تسبق بها صـــديقك، فإنك تنتقل من الجمعة راجعاً للثلاثاء. عندئذ تستطيع الانتقال بالزمن إلى الخلف.

---

(6) ان مصطلح *الثقب الأسود* صيغ من قبل جون ويلير عام 1965. وقبل عام 1965 كان هناك القليل من الابحاث العلمية عن هذا الموضوع. وبعد ذلك، تفجــر المجال. والمصطلح دخل اللغة اليومية. وغالباً الناس يتحدثون حول أشـــياء تختفـــي تحـــت ثقب اسود بيروقراطي. فالمصطلح هو توضيح تام لاهمـــية الحـــصول على الكلمات الصحيحة لوصف ظاهرة في العلوم. فإذا وصـــفوا صـــورة حـــية فـــي عقـــول الناس، فالباحثون ينجذبون نحو هذا الموضوع.

بالحقـــيقة، لقـــد وجدت ان هناك طريقة لتشجع نفسك من موضع لآخـــر. فنظـــرية اينشتاين للنسبية تسمح بوجود *ثقوب دافئة*؛ نفق مثل طـــريق مختـــصر عبر الزمان - المكان. وبعد مرور شهر واحد على الـــثقوب الدافئة ووجود فتحة قرب صديقك، سيكون من الممكن الرجوع بالوقت من الجمعة إلى الثلاثاء.

فالمـــشكلة مع الثقوب هي انها تغلق الخطاف في أي لحظة ما لم تـــبقَ مفـــتوحة للمادة بجاذبية تنافرية. ولا أحد يعرف ان *المادة الغريبة* موجـــودة فـــي الكـــون. ولا يهـــم ان تبقى الحقيقة الممتازة بأن نظرية اينشتاين للجاذبية لا تخرج عن امكانية انتقال الزمن.

هـــناك فروقات قليلة، بين نوع *آلة الزمن* التي سمحت بها النسبية العامـــة، والـــنوع الموصوف في رواية الخيال العلمي للكاتب اش جي ويلـــز. فلشيء واحد، أنت تسافر مسافة عبر الفضاء لتنتقل مسافة عبر الزمن. فلا تستطيع ببساطة الجلوس في آلة الزمن، وسحب الرافعة لتجد نفسك في العام 1776. والفرق الثاني المهم هو أنك لا تستطيع الرجوع للخلف لزمن قبل زمن بناء آلة الزمن. لذا فإذا اردت الذهاب في رحلة لـــصيد الديناصـــورات، فبـــناء آلـــة زمـــن اليوم لن ينفعك. فستجد ان المخلـــوقات الناشئة أو بعض الديناصورات الذكية قد خلقت وانقرضت منذ 15 مليون سنة.

وبالنـــسبة للفيزيائيين النظريين فإن آلات الزمن هي فكرة مشوشة ومزعجة. فإذا كان انتقال الزمن ممكناً، وكل انواع الاوضاع المستحيلة أو التناقضات ممكنة أيضاً، وأن يرجع رجل للخلف بالزمن ويقتل جدته قـــبل أن تـــنجب أمـــه، فالمـــشكلة هي أنه إذا كان قد قتل جدته، فكيف يستطيع أن يولد ليرجع بالزمن إلى الخلف ويفعل الفعل المشين؟

الاســـئلة المـــربكة حفـــزت الفيزيائـــي الانكليزي ستيفن هوكنغ لافتراض حماية عبر الزمن. وأساساً، هو حظر واضح وصريح لانتقال

الــزمن. وطــبقاً لفرضية هوكنغ، فإن بعض ما لم يُعرف لحد الآن من قوانين الفيزياء بامكانه التدخل لمنع انتقال الزمن. وليس لديه دليل قوي ليسأل: "اين يكون سواح المستقبل؟"

لــم يعــتقد اينشتاين نفسه بامكانية انتقال الزمن، على الرغم من حقــيقة نظــرية الجاذبــيه المتوقع بها. فقد كان مخطئاً حول التوقعين الآخرين لنظريته. فلم يعتقد ان الثقوب السوداء ممكنة، واليوم لدينا دليل على أنها موجودة.

10

ذروة الأرنب أعلى من القبعة

الارنب الأبيض سحب من القبعة. ولكونه ارنباً كبيراً، فلقد استغرقت الخدعة مليارات السنين.

جوستن غادر

هناك كؤوس ذات تقنية عالية. حين تدور على محورها، تستطيع ان "تفهم" لترى كل انواع الضوء العادي وغير المرئي للعين البشرية. فتأخذها للخارج في ليلة باردة مليئة بالنجوم.

الشيء الأول الذي تراه هو السماء في حالة فوق بنفسجية لضوء مصدره نجوم أكثر سخونة من الشمس. وحيث ان بعض النجوم المألوفة قد زالت، وبعضها الآخر الجديد يعوم في منظر غامق ضبابي، فسمة السماء هي نفسها كما تبدو للعين المجردة، وغالباً ما تبدو سوداء.

وانت تدور لترى.

الآن أنت ترى الأشعة السينية، ذات الطاقة العالية المشعة بالغاز المسخن لمئات الآلاف من الدرجات كما لو انها تدور بأهداف غريبة شبيهة بالثقوب السوداء. وكذلك ترى سمة السماء حيث تبدو غالباً سوداء.

وانت تدور للخلف، وتندفع نحو الوراء خلال الضوء فوق البنفسجي والمرئي إلى ضوء دون الأحمر، الصادر عن أجسام أبرد من

الشمس. الآن السماء مطعمة بجمرات ملتهبة، وما تزال النجوم الحديثة الــولادة عيــنة فــي غــاز مشيمي ووميضي وعمالقة حمر في المهام المــستحيلة. لكــن علاوة على حقيقة ان السماء مضاءة بعدد كثيف من النجوم، فإنه يبقى الشيء نفسه. انها غالباً سوداء.

وأنــت تــدور للامــام. فترى أمواجاً راديوية، أحد انواع الضوء المستخدم بالرادار، والهواتف الجوالة، وأفران المايكرويف. لكن شيئاً ما يحدث، وهو أن السماء تبدو كلها أكثر اضاءة!

وانــت ترمــي الكؤوس حرك عينيك، نحو الخلف. لكن لا شيء يتغير. السماء الكاملة، من الأفق إلى الأفق تتوهج بانتظام كلؤلؤ ابيض. وأنــت تــدور اكثر، السماء تضيء أكثر واكثر. فالفضاء الكامل يبدو متوهجاً، كأنه داخل مصباح ضوئي.

هل الكؤوس سيئة الاداء؟ كلا، انها تعمل على نحو جيد. فما تراه هو الأشعة الخلفية الكونية، كأثر كرة النار عند الكون المولود قبل 13.7 ملــيار ســنة. وبشكل غير مصدق فما تزال الأشعة تتخلل كل مسامات الفضاء، مبردة بشكل كبير بتمدد الكون لكي تبدو الآن كأمواج مايكروية أقــل طاقة من الضوء المرئي. صدق أو لا تصدق. ان الأشعة الخلفية الكونية تحسب بدهشة 99% من الضوء في كوننا اليوم.

العلوم النهائية

إن نظرية الجاذبية لاينشتاين، النظرية النسبية العامة، تصف كيف ان كــل قطعــة من المادة تسحب قطعة أخرى. والمجموعة الأكبر من المــادة التــي نعــرفها هي الكون. ولا أحد يخجل من المشاكل الكبيرة الحقيقــية في العلوم، فاينشتاين طبق عام 1916 نظريته للجاذبية لكامل الخلق. وبتطبيق ذلك فقد صنع علم الكون – العلوم النهائية – المتعامل مع الاصل والتقييم والقدر النهائي للكون.

وبالــرغم مــن ان الافكار خلف نظرية الجاذبية لاينشتاين هي مخادعــة، فــإن الوســائل الرياضــية ليست كذلك. والعمل خارجاً؛ بالــتحديد كيف أن التوزيع الخاص للمادة يعوج الزمان - المكان هو بالحقــيقة صعب جداً. وحتى العام 1962، فعلى امتداد نصف القرن مــن نــشر اينشتاين نظرية الجاذبية، فإن الفيزيائي النيوزلندي روي كيــر حــسب التشوه للزمان - المكان المسبب بالواقعية، والدوران والثقب الأسود.

إنه من المستحيل تكوين مفهوم حول كيف ان الكون يعوج الزمان - المكــان بــدون صنع فرضيات مبسطة حول كيفية مادته التي تنتشر خــلال الفــضاء. فاينشتاين افترض بأنه لا فرق في الكون أينما تواجد المــراقب. وبكلمــات أخــرى، افترض بأن الكون لديه نفس الصفات الاجمالــية أيــنما تكون أنت، ومن حيثما تكون، فهي تبدو تقريباً نفس الشيء في كل الاتجاهات.

الملاحظــات الفلكــية منذ 1916، بينت أن الفرضيات قد أسست جيداً. ان أحجار مبنى الكون - التي لم يدرك اينشتاين وكل شخص في وقــت مــا بانها مجرات - هي جزر ضخمة من النجوم أشبه بمجرتنا درب اللــبانة. والمناظير الحديثة تُري بالفعل أن هذه المجرات مبعثرة بــشكل جمــيل حول الكون. لذا فالنظرة من مجرة واحدة هي أكثر من نفس الشيء من النظرة من أية مجرة أخرى.

إن استنتاج اينشتاين، بعد تطبيق نظريته في الكون الكامل، هو أن الــزمان - المكــان الكامل يكون معوجاً بسبب تحرك المادة. وهذه هي الانــشودة المركــزية للنــسبية العامة. وبالنتيجة فالكون لا يمكن له ان يــستمر. هذا ما افزع اينشتاين. فمثل نيوتن من قبله، آمن اينشتاين بأن الكــون مــستقر، ومؤلف من أجسام تعرف بالمجرات، معلقة أساساً بلا حركة في الفراغ.

وحسب قول نيوتن: فالكون يكون مستقراً بشرط ان يكون مقنعاً. فالمادة تتمدد إلى ما لا نهاية بكل الاتجاهات. ما يشابه كوناً ابدياً، فكل جسم له أجسام كثيرة في جانب واحد، تسحبه بطريق واحد مع جاذبيتها، وعلى الجانب المقابل، يسحب بالطريق الآخر. مثل الحبل المسحوب بقوة من فريقي شد الحبل، فلذا يبقى بدون حركة.

على كل حال، طبقاً لنظرية الجاذبية لاينشتاين، فإن الزمان - المكان ينحني للخلف على نفسه، والابعاد الاربعة مكافئة لسطح ببعدين لكرة السلة. ففي هذا الكون شد الحبل الجذبي غير متوازن ابداً، لأن كل جسم يحاول سحب كل جسم آخر باتجاهه، والكون ينكمش بشكل غير مسيطر عليه.

ولانقاذ فكرة الكون المستقر، لجأ اينشتاين إلى توزيع نظريته الانيقة. فاضاف قوة لغزية للتنافر الكوني، حيث دفعت جزءاً من الأهداف في الكون. فلقد افترض بأن التأثير الهام هو فقط على الأجسام التي ابتعدت بشكل بارز، مما يشرح لماذا لم يلاحظ من قبل في جوار الأرض. فبمجابهة قوة الجاذبية التي تحاول جذب الأجسام إلى بعضها، فإن التنافر الكوني يحافظ على استقرار الكون إلى الأبد.

الكون المتمدد

كان هناك خطأ في أفكار اينشتاين. ففي عام 1929، أعلن الفلكي الامريكي أدوين هبل - المسؤول عن اكتشاف أن أحجار مبنى الكون كانت المجرات - اكتشافاً جديداً كبيراً. فالمجرات كانت تطير كجزء من قطع شظايا كونية. وبعيد عن كونها مستقرة، فإن حجم الكون كان ينمو. فعندما تعلم اينشتاين من اكتشاف هبل تمدد الكون تخلّى عن نظريته عن التنافر الكوني، مسمياً ذلك الخطأ الأكبر الذي

ارتكـــبه في حياته[1]. ان قوة تنافر اينشتاين اللغزية لم تحفظ المجرات معلقة بدون حركة في الفضاء. وكما أشار ارثر ادونغتون عام 1930، فـــإن الكون المستقر هو بالاصل غير مستقر، واشبه بالسكّين المتوازية على حدها. فالوكزة المجردة كافية لتحدث تمدداً أو انبساطاً.

والآخـــرون لم يتعلموا من خطأ اينشتاين. ففي عام 1922، طبّق الفيزيائي الروسي الكسندر فريدمان نظرية اينشتاين للجاذبية على الكون واســـتنتج انه يجب أن يكون متمدداً أو منبسطاً. وبعد 5 سنوات توصّل القـــسّ الكاثوليكـــي جـــورج - هنري لومتر إلى نفس الاستنتاج بشكل مستقل.

وكمـــا قـــال جـــون ويلير: "إنّ وصف اينشتاين للجاذبية كانحناء للـــزمان - المكان قاده مباشرة إلى أعظم التوقعات: الكون في حركة". انه قدر اينشتاين ان يفقد الرسالة في نظريته.

تشكّل الكون

حيث ان الكون يتمدد، فهناك استنتاج واحد لا يمكن الهروب منه، ويجـــب ان يكون أصغر من الماضي. وتخيل ان التمدد يرجع للخلف، أشـــبه بفيلم سينمائي يعرض بالعكس، فالفلكيون استنتجوا ان كل الخلق عبـــر 13.7 ملـــيار سنة مضت يوضعون في أحجار صغيرة ورقيقة. والدرس من انحسار المجرات هو ان الكون القديم لا يبقى للابد. وكانت هناك بداية زمن. وبعد مضي 13.7 مليار سنة، يبرز للوجود كل المادة والطاقة والمكان والزمان.

---

(1) انظر **خطأ عالمياً** لجورج غامو (نيويورك 1970)، حيث كتب المؤلف عن اينشتاين: "لقد لاحظ (عني) بأن مقدمة المصطلح الكوني كانت الخطأ الأكبر الذي ارتكبه في حياته".

والتمدد الكوني وجد بقانون بسيط قابل للملاحظة. فكل مجرة تندفع بعيداً عن مجرة درب اللبانة بسرعة تتناسب طردياً عن بعدها. لذا فالمجرة هي ابعد مرتين عن الأخرى التي تنحسر أسرع بمرتين، فعشر مرات ابعد من أسرع عشر مرات وهكذا. هذه العلاقة المعروفة بقانون هابل، وجدت لتكون غير قابلة لتجنبها في أي كون ينمو بحجم، بينما يستمر للنظر بنفس الشيء من مجرة أخرى.

تصور كعكة بالزبيب فإذا استطعت ان تقلص حجمها والوصول إلى الزبيب، فالمنظر سوف لا يتغير. علاوة على ذلك، إذا وضعت الكعكة في فرن وتمددت، فسترى كل الزبيب ينحسر عنك ويستمر بانحساره بسرعة تتناسب طردياً مع المسافة عنك. ولا يهم موضع الزبيب بالنسبة لك، فالمشهد سيتكرر أيضاً. (الفرضية الضمنية هنا هي انها كأي كعكة كبيرة، وأنت بعيد دائماً عن الحافة) والمجرات هي كون متمدد أشبه بالزبيب في كعكة الزبيب.

ويتبع ذلك، نحن نرى كل المجرات تطير بعيدة عنا، ولا نفترض اننا في مركز الكون وان التغيرات تحدث في فناء كوننا. أينما كنا في مجرة أخرى غير درب اللبانة، فسنرى نفس الشيء، كل المجرات تهرب. فالتغيرات لم تحدث هنا أو في مكان آخر أو في أي نقطة في الكون. فلقد حدث في كل الأماكن في آن واحد. ولقد قال فيلسوف القرن السادس عشر جيوردانو برنو: "في الكون، لا يوجد مركز أو محيط، لكن المركز هو في أي مكان كان".

التغيُّرات الساخنة

عندما تضغط شيئاً ما في حجم صغير – كضغط الهواء في منفاخ دراجة هوائية – فسيصبح ساخناً. والتغيُّرات الكونية حدثت كذلك.

أول مــن أدرك ذلــك هو الفيزيائي الاوكراني الامريكي جورج غامــو. فلقد برّر بأنه في اللحظات القليلة الأولى بعد تشكّل الكون كان الكون كرة نار ساخنة.

وبيــنما تتــبدّد الحــرارة والضوء لكرة النار النووية في الغلاف الجوي بعد ذلك بساعات وايام فلم يكن ذلك مطابقاً لحرارة وضوء كرة الــنار الأولى. وحيث ان تعريف الكون ككل لم يكن له طريق للوصول إليه. ونتائجه هي البديل عن الكون الابدي. هذا يعني انه يجب أن يظلّ حولــنا اليوم ليس كضوء مرئي – فلقد برد كثيراً نتيجة لتمدد الكون – ولكــن كأمــواج مايكــروويّة؛ وهي شكل غير مرئي من الضوء يميّز الأجسام الباردة جداً[2].

لــم يصدّق غامو انه من الممكن التمييز بين الأمواج المايكروويّة (الــراديوية) من مصادر أخرى للضوء في كوننا اليوم. على كل حال، كــان مخطــئاً. وقد أدرك طالباه رالف الفير وروبرت هيرمان ان اثر الحــرارة كان لديه سمتان أحاديتان واللتان كان من الممكن أن تجعلاه يــتوقف. أولاً: لأنــه أتــى من حدثٍ وقع في كل مكان في آن واحد، فالضوء يجب أن يأتي متساوياً من كل اتجاه بالسماء. وثانياً: إن طيفه – وهــو طريقة تغير لمعان الضوء حسب تغير طاقة الضوء – ممكن أن يكون "الجسم الاسود". فليس ضرورياً معرفة ان الجسم الاسود هو فقط طيف الجسم الاسود وهو بصمة اصبع وحيدة.

رغــم ان الفير وهيرمان توقعا وجود بقايا – من اشعاع الأمواج الخلفية الراديوية الكونية – في العام 1948، إلاّ أن ذلك لم يكتشف حتى عام 1965 بالصدفة.

فــإن ارنــو بنــزياس وروبرت ويلسون، وهما فلكيان شابان في

---

(2) والصمام المفرغ الذي يشغل الفرن المايكروي والناقل الراداري.

مختبـــرات بـــيل في هولمديل نيو جرسي، كانا يستخدمان هوائي أمواج راديـــوية بـــشكل قـــرن للاتصال مع *تل ستار*، وهو أول قمر صناعي حديث للاتصالات، عندما حزما مجموعة غامضة من الأمواج الراديوية "المـــشوشة" التـــي تأتي متساوية من كل اتجاه من السماء. وبعد أشهر متلاحقة أصابتهما الحيرة حول الاشارات وفكرا بشكل مختلف بانه ربما يكـــون هناك راديو بالقرب من مدينة نيويورك، كاختبار نووي للغلاف الجـــوي، أو أن هناك روث حمام يغطي هوائي الأمواج الراديوية الخاص بهمـــا. وبالحقيقة، لقد تمكّنا من التّوصل إلى أهمّ اكتشاف كوني منذ اكتشف هـــبل أن الكون متمدد. ان شفق الخلق كان دليلاً قوياً على أن كوننا بدأ في الحقيقة ساخناً، وفي حالة كثبنة، ونما في الحجم ثم برد بعد ذلك.

لم يقبل بنزياس وويلسون بهذه النظرية لسنتين على الأقل باعتباره تشويـــشاً غامـــضاً. وباكتشافهما شفق الخلق، فقد نالا عام 1978 جائزة نوبل للفيزياء.

ان اشـــعاع الخلفـــية الكونية هو "المتحجر" الاقدم في الخلق. فقد وصـــلتنا مباشرة منذ ذلك الحين، معلومات ثمينة حول حالة الكون منذ طفولـــته قـــبل 13.7 ملـــيار ســـنة. والخلفية الكونية هي كذلك الأبرد بالطبـــيعة؛ فقـــط حوالـــى 2.7 درجة فوق الصفر المطلق، أي أنها أقل درجة حرارة ممكنة (-270 درجة مئوية).

ان اشـــعاع الخلفـــية الكونـــية هو بالفعل إحدى السمات المدهشة لكونـــنا. فعندما ننظر إلى السماء في الليل، نجد صفتها الأكثر وضوحاً هي انها سوداء. على كل حال، إذا كانت اعيننا حساسة لضوء الأمواج الراديوية أكثر من الضوء المرئي، فسنرى شيئاً مختلفاً جداً. فبعيداً عن كـــونها ســـوداء إن الـــسماء الكاملة - من الأفق إلى الأفق - ستكون بيـــضاء؛ أي أشبه بضوء المصباح. بعد مليارات السنين من الحادثة، ما يزال الفضاء متوهجاً مع اثر حرارة التغيرات التي حدثت.

وبالحقــيقة، إن كــل حجم مكعب سكر في الفضاء الفارغ يحتوي علــى 300 فوتــون من اشعاع الخلفية الكونية. و99% من الفوتونات بالكــون مــرتبطة بالــداخل مع 1% من ضوء نجم. ان اشعاع الخلفية الكونـــية موجــود في كل مكان. فإذا بدّلت محطة التلفاز بين العديد من المحطات التلفزيونية، فإن 1% من "التشويش" على شاشة التلفاز هو اثر من هذه التغيّرات العظيمة.

الظلام في الليل

إن حقــيقة ان الكــون بدأ بهذا الشكل تشرح لغزاً آخر؛ أي لماذا كانـــت ســماء الليل مظلمة؟ كان الفلكي الالماني جونز كيبلر في العام 1610 أول من أدرك ان تلك مسألة محيّرة.

فكــر بغابة ذات أشجار صنوبر مفصولة بمسافات منتظمة مرتبة. فــإذا ركضت في الغابة بخط مباشر فعاجلاً ام آجلاً ستصطدم بشجرة. وبالطــريقة نفــسها، إذا امتلأ الكون بنجوم بينها فراغات منتظمة، فإن نظــرك سيقع على نجم مهما كان الاتجاه الذي تنظر منه من الأرض. فــبعض هذه النجوم ستكون بعيدة. وعلى كل حال، ستكون هناك نجوم بعــيدة أكثر من نجوم أخرى قريبة. وبالحقيقة – وهذه نقطة حاسمة – سيزداد عدد النجوم ممّا يعوّض بعدها. وبكلمات أخرى، النجوم في بعد معلــوم مــن الأرض ستــساهم بضوء أكثر من النجوم الأخرى البعيدة بمقدار الضعف، وثلاث مرات ابعد، واربع مرات ابعد وهكذا. فعندما يصل الضوء إلى الأرض سيضاف، والنتيجة ستكون كمية لا نهائية من الضوء!

هــذا حمــق، فالــنجوم لا تشبه النقطة، انها اقراص صغيرة. لذا فالـــنجوم القريبة تبدّد بعض الضوء مما عند النجوم البعيدة مثلما تحجب أشـــجار الــصنوبر القــريبة تلــك البعــيدة. ولكن بعد أخذ هذا التأثير بالحــسبان، فالاستنتاج الذي يبدو أنه لا مفر منه هو ان السماء الكاملة

تكـــون "مغطـــاة" بالنجوم، وبدون فجوات بينها. وبعيداً عن ظلام الليل، فـــسماء اللـــيل يجب أن تكون أكثر اضاءة من سطح النجم النموذجي. فالـــنجم النموذجـــي هو قزم احمر، والنجم يتوهج أشبه بالجمرة الميتة. وبالنتـــيجة فالسماء في منتصف الليل تتوهج بلون الدم الاحمر. والأمر المحيّـــر هو لماذا لم تبسّط هذه الفكرة في مطلع القرن التاسع عشر من قـــبل الفلكـــي الألمانـــي هاينرش اولبرز والتي عُرفت فيما بعد بمفارقة هاينرش تشريفاً له.

إن الحـــلّ فـــي تناقض اولبرز يكمن في إدراك أن الكون لم يكن موجوداً ولكنه نشأ. فمنذ لحظة الخلق هناك 13.7 مليار سنة حتى يصلنا ضوء النجوم البعيدة. لذا فالنجوم والَمجرات التي نراها هي تلك القريبة بمـــا يكفي بحيث يحتاج ضوؤها إلى أقل من 13.7 مليار سنة ليصلنا. فمعظم النجوم والمجرات بعيد جداً ولذا فإن ضوءها يحتاج إلى أكثر من 13.7 مليار سنة ليصلنا. ان ضوء هذه الأهداف ما يزال في طريقه إلى الأرض.

لـــذلك، فإن السبب الرئيسي لعتمة السماء في الليل هو ان الضوء من معظم الأهداف في الكون لم يصلنا. ومنذ فجر تاريخ البشرية، حدّق الكون في بدايته في وجه ظلمة السماء في الليل. ونحن ببساطة لا ندرك ذلك.

وبالتأكـــيد إذا انتظرنا مليار سنة أخرى، فسنرى نجوماً ومجرات بعيدة جداً، بحيث إن ضوءها سيحتاج إلى 14.7 مليار سنة ليصل إلينا. والـــسؤال الذي يبرز هو: إذا عشنا تريليونات من السنين في المستقبل فهـــل سيكون لدى الضوء الصادر عن النجوم والمجرات الكثيرة الوقت ليـــصلنا، وهل ستكون السماء في الليل حمراء؟ الجواب هو لا. وتعليل كيبلـــر واولبرز مستند إلى افتراض غير صحيح؛ وهو ان النجوم تعيش للابـــد. وبالحقيقة، حتى النجوم ذات العمر الطويل ستستخدم كل طاقتها

القـــصوى وستحترق بعد حوالى 100 مليار سنة. وهذا وقت طويل جداً قبل وصول الضوء إلى الأرض ليجعل السماء حمراء.

المادة المعتمة

إنه من الصعب ان نفهم من أين اتت مجرتنا درب اللبانة.

واكـــب التغيـــرات التي حدثت نشوء خليط من الجسيمات المادية والضوء. والمادة تأثرت بالضوء. فمثلاً إذا تكتلت المادة مع مواد أخرى فـــستكون انعكاســـاً لشفق هذه التغيرات، ولن تكون منتظمة تماماً عبر ســـماء الـــيوم لكـــن ستكون أكثر اضاءة في بعض الأماكن دون أماكن أخـــرى. وحقيقة ان الشفق يحيط بكل السماء يعني ان المادة التي نشأت أثـــناء التغيرات منتشرة ببساطة شديدة. ولكن نعرف انه لا يوجد انتشار بسيط. وبعد كل هذا، فإن كون اليوم هو ملتف بمجرات النجوم وعناقيد المجـــرات وفراغ هائل بينها. ففي بعض الأحيان، يجب أن تكون المادة فـــي الكون أبعد من كونها موزعة ببساطة خلال الفضاء لتكون ملتفة. وبداية هذه العملية تكون مرئية في اشعاع الخلفية الكونية.

ففي عام 1992، اكتشفت اختلافات قليلة جداً في اضاءة الشفق من قـــبل ناســـا بالقمـــر الصناعي COBE المستكشف للخلفية الكونية. هذه المـــوجات الكونـــية، تظهر أنه وبعد حوالى 300,000 سنة، فإن بعض أجـــزاء الكـــون شديدة الكثافة ببضعة آلاف جزء من المائة من غيرها. وبطـــريقة مـــا، هذه المجموعات من المواد – "بذور" التركيب – تنمو لتشكل عناقيد ضخمة من المجرات التي نراها اليوم. لكن هناك مشكلة.

إن مجموعات المادة تنمو لتصبح مجاميع أكبر بسبب الجاذبية. إذا كـــان المحـــيط ذا مادة أرق من المحيط المجاور له فإن جاذبيته القوية ستـــسرق مـــادة أكثر من المحيط المجاور له. فالغني يصبح أكثر غنى والفقيـــر يصبح أكثر فقراً. والمناطق الكثيفة للكون ستكون دائمة الكثافة

حتـــى تصبح المجرات التي نراها اليوم. والمشكلة ان النظريين لاحظوا أن 13.7 ملـــيار ســـنة لم تكن فترة كافية لقوة الجاذبية لتجعل مجرات الـــيوم خارج المجاميع الرقيقة للمادة المشاهدة من قبل القمر الصناعي COBE. والطـــريقة الوحيدة التي كان بإمكان المجرات القيام بذلك بها هـــي إذا كانـــت هناك كمية أكبر من المادة في الكون من تلك المرتبطة أكثر بالنجوم المرئية.

فعلياً، كان الدليل القوي للمادة المفقودة حاضراً. والمجرات البرمية مـــثل درب اللبانة تشبه دوامة عملاقة من النجوم، ونجوم هذه المجرات موجودة لتكوّن دوامة حول مراكزها بسرعة أكبر. والحقيقة، أنها يجب أن تطير في الفضاء بين المجرات، مثلما يحصل عندما تُدفع إلى دوّامة جعلهـــا شخص ما تدور بسرعة كبيرة. والتفسير المميز هو بأن فلكيي العالم يأتون مع المجرات الشبيهة بمجرتنا درب اللبانة التي تحتوي على عشرة أضعاف أكبر من المادة المرئية في النجوم. ويسمون المادة غير المرئية بالمادة المعتمة. ولا أحد يعرف ما هي. فالجاذبية الزائدة للمادة المعتمة تمسك النجوم في افلاكها وتوقفهما عن الطيران في الفضاء بين المجرات.

ان الكـــون كاملاً يحتوي على كمية من المادة المعتمة التي تعادل عشرة أضعاف أكثر من المادة العادية، والجاذبية الزائدة هي فقط كافية لايجـــاد مجامـــيع من المادة المرئية بواسطة COBE في عناقيد مجرتنا الـــيوم خـــلال 13.7 ملـــيار سنة منذ ولادة الكون. ان صورة ما حدث محفـــوظة[3]. ان الثمن يضاف إلى الكثير من المادة المعتمة، والتي لا

(3) فعلـــياً هـــناك كمـــية من المادة المعتمة تعادل ما بين 6 و7 أضعاف المادة العاديـــة. وهـــذا بسبب ان النجوم تحسب فقط حوالى نصف المادة العادية. والباقي – الذي يكون بشكل غيمة قاتمة غازية بين المجرات – ولم يعرف حتى الآن.

أحـــد يعـــرفها تقريباً. فبكلمات دوغلاس ادمز في **الضار على الاغلب:** "لفتـــرة طـــويلة من الزمن كان هناك تخمين وخلاف حول المكان الذي فقـــدت به ما سُميت "بالمادة المفقودة" للكون. كل اقسام العلوم للجامعات الكبرى اكتسبت تفاصيل ومعدات أكثر لتحقق وتبحث عن قلب المجرات البعـــيدة، ثـــم قلـــب المركز والحافات البعيدة للكون الكلي، وفعلياً حين تعقبت حقيقة وجودها تحوّلت لتصبح كل الأشياء التي جمعتها معداتها!".

التضخيم

إن حقيقة ان التغيرات التي حدثت لا تعطي وقتاً كافياً للمادة لتتكتل فـــي مجرات ليست هي المشكلة الوحيدة مع السيناريو. بل هناك مشكلة أخـــرى قابلة للنقاش بشكل أكثر جدية وهي تهتم ببساطة الأشعة الخلفية الكونية.

تـــصل الأشياء إلى نفس درجة الحرارة عندما تنتقل الحرارة من الجـــسم الساخن إلى البارد. فمثلاً إذا وضعت يدك الباردة على زجاجة مـــاء ســـاخن، فالحرارة ستنتقل من الزجاجة إلى يدك وستصبح بنفس درجـــة الحرارة. ان الأشعة الخلفية الكونية اساساً بنفس درجة الحرارة. وهذا يعني أنه عندما نما حجم الكون البدائي، وتأخرت بعض القطع عن الأخرى بدرجة الحرارة فإن الحرارة انتقلت إليها من القطع الأكثر دفئاً؛ معادلة درجة الحرارة.

وتبـــرز المـــشكلة إذا تصورت ان تمدد الكون يجري للخلف أشبه بفـــيلم ســـينمائي معكـــوس. وفي الوقت الذي كان فيه الاشعاع الكوني السابق على اتصال مع المادة – بحوالى 300,000 سنة بعد ذلك – فإن قطـــع الكون التي هي اليوم على جوانب متضادة في السماء بعيدة جداً عـــن الحرارة بحيث يصعب انتقال هذه الحرارة من قطعة إلى أخرى.

والـــسرعة القصوى التي من الممكن أن تتدفق فيها هي سرعة الضوء، وان 300,000 التي احتاجها الكون ليصبح موجوداً ليست طويلة بشكل كـــافٍ. لذا كيف يكون الاشعاع الكوني بنفس درجة الحرارة أينما كنت اليوم؟

وصـــل الفيزيائيون للجواب المميز. تتدفق الحرارة للخلف والامام خـــلال الكون، بدرجة حرارة متساوية، فقط إذا كان الكون المبكر أكثر صـــغراً من الجريان الخلفي للفيلم الخاص بنا والمطبق علينا. فإذا كانت المناطق أكثر قرباً من بعضها، فهناك الكثير من الوقت للحرارة لتتدفق مـــن الاتجاه الساخن إلى البارد بدرجات حرارة متساوية. لكن إذا كان الكـــون أكثر صغراً مما ابتدأ به، فيجب أن يظهر زيادة كبيرة في النمو للوصول إلى حجمه الحالي.

وطـــبقاً لنظرية التضخم، "تضخم" الكون خلال أول ثانية للوجود، خاضـــعاً لـــتمدد ظاهري عنيف. وما قاد التمدد هو سمة غريبة لفراغ الفـــضاء الخالـــي، بالـــرغم مـــن انه ما يزال باهتاً بالنسبة للفيزيائيين. والهـــدف هو ان هذا التمدد الضخم كان سريعاً، والذي جرى أسرع من النهـــر. وعندئذٍ حدث التمدد الأكثر رزانة الذي نراه اليوم. ان تمدد هذا الفعـــل الجبار هو أشبه بتمدد حزمة من الديناميت، فالتضخم من الممكن ان يـــشبه الانفجـــار الـــنووي. وكما قال رائد التضخم ألان غيث: "ان نظـــرية حـــدوث التغيـــرات القياســـية تقول انه لا شيء حول حدوث الـــضجيج، ولماذا يحدثِ الضجيج أو ماذا حدث قبل الضجيج". التضخم هو على الأقل محاولة لمخاطبة هذه الأسئلة.

فمع التضخم والمادة المعتمة، فإن سيناريو هذه التغيرات يمكن أن يحـــدث. وبالحقـــيقة، حـــين يتحدث الفلكيون عنها هذه الايام، فغالباً ما يقـــصدون أنهـــا تحـــدث مع التضخم والمادة المعتمة. وعلى كل حال، التضخم والمادة المعتمة لم يوجدا افكاراً مماثلة. وبدون أي شك، نعرف

ان الكـــون بـــدأ في حالة كثيفة ساخنة وتوسع وبرد حتى الان، هذا هو ســـيناريو مـــا حدث. وذلك التضخم ما يزال غير مؤكد؛ وحتى الآن لا يوجد تعريف للمادة المعتمة.

إحدى نبضات التضخم هي انه يجهز شرحاً ممكناً لاصول التراكيب مثل المجرات في كوننا اليوم. ولمثل هذه التراكيب التي شكلت، هناك نوعاً ما شيء من عدم الاستقرار في الكون في مرحلة مبكرة جداً. تلك الخشونة الاولـــية تتـــسبب بما يسمى التذبذب الكمي. اساساً، تسبب قوانين الفيزياء الدقـــيقة مـــناطق صغيرة جداً في الفضاء والمادة لتهتز بشكل شبيه بالماء المغلـــي في قدر. هذه التذبذبات في كثافة المادة كانت صغيرة؛ وأصغر من ذرات الـــيوم. والـــتمدد الظاهري للفضاء الذي حدث بسبب التضخم حسّن رؤيـــته بحجم ملاحظ. وبشكل غريب، التراكيب الأكبر في كوننا اليوم هي عناقيد كبيرة من المجرات، التي ربما انتجت بذوراً أصغر من الذرات!

التـــضخم علـــى كل حال يتوقع ببعض الأمور حول كوننا التي لا يبدو أنها تتوافق مع الحقائق. حالياً، الكون يتمدد. وجاذبية كل المادة في الكون تعمل على كسر التمدد. وهناك احتمالان رئيسان، الأول ان الكون يحـــتوي علـــى مـــادة كافية تتباطأ فعلياً وتعكس تمددها، ليندمج الكون للخلـــف ممـــا يسبب ازمة كبيرة، وهو نوع من صورة المرآة لما حدث عـــند ولادة الكون. والثاني انه يحتوي على مادة غير كافية تتمدد للابد. والتضخم يتوقع بأن الكون يجب أن يكون متوازناً على حافة السكين بين هـــذين الاحتمالـــين. وسيستمر بالتمدد، ولكنه يتباطأ كل الوقت، واخيراً يجـــري أسرع من النهر في مستقبل غير متناهٍ. ولكي يحدث هذا، يجب أن يعـــرف الكـــون ما هي الكتلة الحرجة. المشكلة هي أنه حتى عندما تجتمع كل المادة في الكون – مادة مرئية ومعتمة – فإنها الكمية لحوالى ثلـــث الكـــتلة الحرجة. والتضخم يبدو غير مستهل به. حسناً هكذا ظل الأمر حتى حصل الاكتشاف المدهش في العام 1998.

الطاقة المعتمة

لاحـــظ فـــريقان "الـــسوبرنوفا" - بانفجار النجوم - في المجرات البعـــيدة. احـــدهما ترأســـه الامريكـــي سول بيرل موتر، والآخر قاده الاســـترالي نـــك سنتـــسف وبريان شمدت. فالسوبرنوفا هو عبارة عن انفجـــار الـــنجوم والتي تتألق مجراتها الابوية وبذلك يمكن رؤيتها من مـــسافات بعيدة خارجية في هذا الكون. لاحظ أحد الفريقين الفلكيين هذه الظاهـــرة وعـــرّفها بسوبرنوفا I. ولديها ميزة بأنها عندما تنفجر، فإنها تشرق دائماً بنفس الاضاءة. لذا فإذا رأيت إحداها أضعف من الأخرى، فأنت عندئذ تعرف بأنها الأبعد.

فما رآه الفلكيون هو أن المجرات البعيدة جداً أضعف مما توقعوه، مـــع الأخذ بعين الاعتبار المسافة التي تبعد بها عن الأرض. والطريقة الوحـــيدة لشرح ما رأوه هي بأن تمدّد الكون تسارع منذ انفجار النجوم، ممـــا دفـــع هذه النجوم باتجاه أبعد مما هو متوقع وجعلها تظهر للعيان بشكل أضعف.

وقـــد كـــان ذلك مفاجأة دخلت عالم العلوم. فالقوة التحتية المؤثرة علـــى المجـــرات تتوقع بسحب جذري متبادل. مما يوجب كسر التمدد وليس تسريعه.

والشيء الوحيد الذي يسرع الأشياء كان الفضاء نفسه. وخلافاً لكل الـــتوقعات، لا يمكـــن أن يكـــون فارغاً. فيجب أن يحتوي على بعض الأنـــواع الغريبة التركيب والمجهولة العلوم - "الطاقة المعتمة" - والتي مارست نوعاً من التنافر الكوني، وهي مقاومة للجاذبية وتقود المجرات جانباً.

والفيـــزيائيون كلهـــم بمستوى واحد يأتون ليفهموا الطاقة المعتمة. فنظـــريتهم المفضلة، هي ان الميكانيك الكمي، يتوقع طاقة مشاركة مع

الفضاء الفارغ وتساوي قيمتها 1 متبوعاً بـ 123 صفراً أكبر من ملاحظة بيرل موتر! لقد وصف الحائز على جائزة نوبل ستيفن فاينبرغ ذلك "بالفشل الأسوأ للقيمة المقدرة في تاريخ العلوم".

وبالرغم من الاحراج، فالطاقة المعتمة لها على الأقل نتيجة مرغوب فيها. إن تسمية ذلك بالتضخم يتطلب أن يملك الكون الكتلة الحرجة، ولكن كل المادة في الكون مجتمعة تشكل فقط ثلث الكتلة الحرجة. فكل أشكال الطاقة – كما اكتشف اينشتاين – لديها كتلة فعلية. ومن ضمنها الطاقة المعتمة. وبالحقيقة انها توجد لتحسب ثلثي الكتلة الحرجة؛ ولذا فالكون له بالضبط الكتلة الحرجة؛ تلك التي توقعها التضخم.

وعلاوة على انه لا أحد يعرف ما هي الطاقة المعتمة، فالاحتمال الوحيد هو المشاركة مع القوة التنافرية للفضاء الفارغ المقترح من قِبَل اينشتاين. ففي العلوم، يبدو ان كل الأشياء تبدأ وتنتهي مع اينشتاين. وخطؤه الكبير ربما يتحوّل ليصبح نجاحه الكبير.

وتجدر الإشارة إلى انّ ما حدث، مع كل نجاحاته، ما يزال بشكل أساسي وصفاً لكيفية تطور كوننا من حالة مكثفة جداً وحارة جداً إلى حالته اليوم مع المجرات والنجوم والكواكب. وكيف بدأ كل ذلك ما يزال لغزاً.

للفردية وما بعدها

تصور تمدد الكون يرجع للخلف مرة أخرى أشبه بفيلم سينمائي معكوس. فحيث ان الكون ينكمش لنقطة، فما يحتويه من مادة تصبح مضغوطة أكثر وأكثر سخونة. وبالحقيقة لا يوجد هناك حدود لهذه العملية. ففي هذه اللحظة، بدأ تمدد الكون – لحظة ولادته – في كثافة

غير نهائية وحرارة غير نهائية. والفيزيائيون سموا هذه النقطة انفرادية لا نهائية. وطبقاً للتغيرات القياسية، فالكون كان قد ولد منفرداً.

والمكــان الآخر لنظرية الجاذبية لاينشتاين التي تتوقع بالانفرادية هــو فــي قلــب الثقب الأسود. ففي هذه الحالة فإن مادة النجم الكارثية تــتقلص فعلــياً وتــصبح مضغوطة بحجم صغير ولذلك تصبح كثافته وحرارته لا نهائيتين أيضاً.

والانفــرادية هــي حالــة لا حسية[4]. فكل كيان يبرز في نظرية فيــزيائية، يخبــر ان تلــك النظرية – في هذه الحالة، نظرية الجاذبية لاينــشتاين – هــي معيــبة. ونحن نمدده خلف المجال حيث كل شيء حــساس حــول العالم. وهذه ليست مفاجأة. فالنسبية العامة هي النظرية الكبيــرة جداً. ففي مراحله الأولى، كان الكون أصغر من ذرة. ونظرية الحقل الذرية هي النظرية الكمية.

وطبيعــياً، ليس هناك تداخل بين العزمين الشاهقين لفيزياء القرن العــشرين. وعلى كل حال، انهم يدخلون في صراع حول قلب الثقوب الــسوداء وحول ولادة الكون. فإذا ذهبنا لفهم كيف ان الكون اتى ليكون موجوداً، فنحن نذهب لنجد وصفاً احسن لحقيقة أكثر من نظرية اينشتاين للجاذبية. فنحتاج عندئذٍ للنظرية الكمية للجاذبية.

وفرضــية ايجــاد هــذه النظرية هي كبيرة. وبسبب عدم الموافقة الأساســية بين النسبية العامة والنظرية الكمية، فالنسبية العامة أشبه بكل نظــرية فيزيائية سابقة، فهي وصف لتوقع المستقبل. فإذا كان الكوكب هــنا الآن، ففــي حساب اليوم، سيتحرك هناك باتباع ذلك المسار. وكل هذه الأشياء قابلة للتوقع بدقة 100%. والنظرية الكمية هي وصفة لتوقع الاحتمالات. فإذا طارت الذرة عبر الفضاء فكل الذي نستطيع توقعه هو

---

(4) فعلــياً، هــناك تمييــز دقيق بين الانفراديات بقلب الثقب الأسود والتغيرات الكبرى. فالأولى انفرادية بالمكان والثانية هي انفرادية بالزمان.

احتمالـــية المكـــان النهائي وكذلك مسار الذرة. فالنظرية الكمية تقوض الأحجار الأساسية للنظرية النسبية العامة.

وفعلياً يحاول الفيزيائيون اكتشاف النظرية الكمية الصعبة للجاذبية بعـــدة طـــرق. والأمر غير القابل للشك، هو أن الشيء المحصل عليه والأكثر دعاية هو نظرية الاوتار المحسنة، والتي تنظر لاحجار المبنى الأساســـي للمـــادة ليس كجسيمات تغطية بل كقطع رقيقة جداً "للوتر". فالوتـــر - للطاقـــة - الكتلة الأكثر تركيزاً - يستطيع التذبذب مثل وتر الكمان، وكل مسافة تذبذب "طور" توافق الجسيمة الأساسية كالإلكترون أو الفوتون.

ومـــا يحفـــز نظريات الوتر هو أن بعض أشكال الجاذبية - على الـــرغم من انها ليست للنسبية العامة - تحتوي آلياً على نظرية الوتر. فأحـــد التعقـــيدات البـــسيطة هو ان الاوتار لنظرية الوتر تتذبذب بعالم عـــشاري الابعـــاد، ممـــا يعني ان هناك ستة أبعاد إضافية صغيرة جداً بالنسبة لنا لملاحظتها. والمشكلة الأخرى هي ان نظرية الاوتار تتضمن رياضيات معقدة بشكل مفزع بعيدة البرهان لاستحالة جعل التوقع معها ضد الحقيقة.

ولا أحد يعرف مقدار القرب أو البعد عن امتلاكنا النظرية الكمية للجاذبية. وبدونها لا يوجد امل للانتقال بخطوات خلفية إلى بداية الكون. وعلى كل حال، بعض الأشياء التي يجب أن تحدث على طول الطريق هي واضحة.

والآن فكـــر بتمدد الكون عكسياً مرة أخرى. ففي البداية، سيتقلص الكـــون بنفس المعدل بكل الاتجاهات، وهذا بسبب ان الكون جميل جداً بكـــل الاتجاهـــات. لكـــن هذا الجمال المثير ليس نفسه الجمال المعني. وبشكل غير قابل للشك، سيكون هناك انسياب للمجرات في اتجاه واحد. ففـــي المـــراحل الأولـــى للانكماش فإن اللاتوازن لن يكون لديه تأثير

ملاحــظ. والكــون يــنكمش لحجم اصغر. والمراحل النهائية للاندماج ســتكون فوضى عنيفة. والجاذبية – التي تشوه الزمان – المكان – هي معتمدة بقوة على الاتجاه من الانفرادية التي توصف بسقوط الجسم.

وبالقرب جداً من الانفرادية، سيكون تشوه الزمان – المكان، أكثر عنفاً وفوضوية من المكان والزمان المحطّمين فعلياً، ومقسماً في قطرات كبيرة. والمفاهيم مثل "قبل" و"بعد" تفقد الآن كل المعنى. وكذلك مفهوما "بعــيد" و"اتجــاه". فالضباب المنيع يغلق الرؤية الامامية. وانها تحجب المجــال الغامض للنظرية الكمية، حيث لا يوجد نظرية حتى الآن تعمل كدليل لنا.

لكــن الــتعمق فــي الضباب يضع الاجوبة لمعظم العلوم باسئلة مفروضة. من أين اتى الكون؟ وكيف تشكّلَ قبل 13.7 مليار سنة؟ وماذا كان قبل ذلك؟

والامل الكبير هو أنه عندما ندير شبكة لنظريتنا الصغيرة جداً مع نظريتنا الكبيرة جداً، سنجد الاجوبة لهذه الأسئلة. عندئذٍ سنتواجه وجهاً لــوجه مع السؤال النهائي: كيف تأتي بعض الأشياء من لا شيء؟ كتب جوستن غادر في *عالم صوفي*: "انه يكفي لتمسك قطعة في يدك. والكون ســيكون غير مفهوم إذا تألف من قطعة واحدة بحجم البرتقالة. والسؤال الصعب هو: من أين أتت هذا القطعة؟"

المصطلحات

الـصفر المطلـق أخفض درجة حرارة ممكن احرازها. فعندما يبرد الجسم، تتحـرك ذراتـه بخمـول أكثـر وأكثـر، وعند الصفر المطلق المساوي لـ -273.15 درجـة مئوية فإن الذرات تقف عن الحركة. (وفعلياً هذا لـيس صحيحاً حسب مبدأ اللادقة لهايزنبرك حيث تنتج بقايا مذعورة حتى عند الصفر المطلق).

القـرص التراكمي قرص شبيه بمادة ملتفة تتشكل حول مصدر قوي للجاذبية مـثل الثقب الأسود. وبعد أن تضعف الجاذبية مع المسافة من مصدرها، فالمـادة فـي المـدار الخارجي للقرص تدور بشكل أبطأ أكثر من المدار الداخلـي. والاحـتكاك يحدث بين المناطق بانتقال المادة بسرعات مختلفة وتـسخين القـرص إلـى ملايين الدرجات. والنجوم الفلكية البعيدة تمتلك إضاءة ضخمة بتسخين حراري قوي للاقراص المحيطة "بالكتلة الضخمة" للثقوب السوداء.

الفـا سـاتنوي النجم الأقرب بنظامه إلى الشمس ويحتوي ثلاث نجوم بمسافة 4.3 سنة ضوئية.

انحـلال الفـا انشقاق جسيمة الفا ذات السرعات العالية إلى نوى غير مستقرة وكبيرة في محاولة لتحويلها لنواة مستقرة وخفيفة.

جسيمة الفا حالة مربوطة ببروتونين ونيوترونين - وبالاساس نواة الهليوم - والتي تقذف نواة غير مستقرة خلال انحلال الفا الاشعاعي.

مبدأ الاعتدال فكرة ان الكون هو الذي مهد ما لم نلحظه هنا من قبل. وبكلمات أخرى، حقيقة وجودنا هي ملاحظة علمية هامة.

المادة المضادة مصطلح لتراكم كبير للجسيمات المضادة. والبروتون المضاد، والنيوتــرون المضاد، والبوزترون يمكن في الحقيقة أن تكون معاً ذرات مــضادة. ولا يوجد هناك شيء من ناحية المبدأ يستثني النجوم المضادة، والكواكب المضادة، والحياة المضادة. وإحدى الغرائب الكبرى في الفيزياء هي لماذا نظهر في الحياة في كون مصنوع من المادة وحدها عندما تتوقع قوانين الفيزياء بخليط أكثر جمالاً 50/50 من المادة والمادة المضادة.

الجــسيمة المــضادة كل جسيمة داخل الذرة مشاركة بجسيمة مضادة بصفات مــضادة، مــثل الــشحنة الكهربائية. والإلكترون المشحون سلبياً يشارك بجسيمة مضادة مشحونة ايجابياً تعرف بالبوزترون. فعندما تلتقي الجسيمة والجــسيمة المضادة تتدمران ذاتياً أو تهلكان في وميض من ضوء الطاقة العالية أو أشعة غاما.

الــذرة حجــر البناء لكل المادة الاعتيادية. والذرة تتألف من نواة تدور حولها غــيمة مــن الإلكتــرونات. والشحنة الموجبة للنواة هي بالضبط موزونة بــشحنة سالبة للإلكترونات. وقطر الذرة يساوي جزءاً من عشرة ملايين جزء من المليمتر.

الطاقة الذرية انظر الطاقة النووية ص 205.

الــنواة الذريــة المجمــوعة المكــونة التي تحتوي البروتونات والنيوترونات (بروتون واحد في حالة الهيدروجين) في مركز الذرة. والنواة تؤلف 99.9 % من كتلة الذرة.

تــشكّل الكون يُعتقد ان الكون ولد قبل 13.7 مليار سنة. ولم يكن هناك وجود من قبل، حيث حدث المكان والزمان والطاقة كلها بعد ذلك.

نظــرية تشكّل الكون فكرة ان الكون ابتدأ بكثافة عالية وحالة ساخنة جداً منذ 13.7 مليار سنة مضت وتمدد وبرد تدريجياً.

الــسحق أو الانكمــاش الكبير إذا كانت هناك مادة كافية في الكون، فجاذبيته ستتوقف يوما ما وتنعكس بتمدد الكون؛ فسينكمش ويسحق. وهو أحد أنواع صور تشكّل الكون.

الجسم الأسود جسم يمتص كل الحرارة الساقطة عليه. والحرارة تتشارك بين الــذرات بطريقة الامتصاص الحراري، فتعطي للجسم بقدر ما تأخذ منه، لكــن ذلــك يعــتمد فقط على درجة حرارته وشكله السهل القابل للتمييز. والنجوم هي أجسام سوداء تقريباً.

الــثقب الأســود الــزمان - المكان المشوه الاجمالي الذي يترك عندما تسبب جاذبية الجسم الضخم الانكماش إلى نقطة. ولا شيء حتى الضوء يستطيع الهــروب عند اسوداد الثقب الأسود. ويظهر الكون بأنه يحتوي على الأقل على نوعين مميزين من الثقوب السوداء، ثقوب سوداء بحجم هائل تتشكل حــين لا تــولِّد نجوم ضخمة حرارة داخلية لموازنة قوة الجاذبية المسببة لتصادمها والثــقوب السوداء. ومعظم المجرات يبدو بأن مراكزها تحتوي علــى فجوات سوداء ضخمة. وتتراوح ما بين ملايين المرات لحجم كتلة الــشمس فــي مجرتنا درب التبانة إلى مليارات الكتل الشمسية في النجوم البعيدة جداً.

تكاثــف بوز- أينشتاين هو ظاهرة كل الجسيمات الدقيقة في الجسم المزدحمة فجــأة فــي حالــة مشابهة. والجسيمات يجب أن تكون بوزونات، ودرجة الحــرارة يجــب أن تكــون عموماً منخفضة جداً. فذرات الهيليوم مثلاً، تــزدحم تحــت (−271) درجة مئوية متحولة إلى سائل الهيليوم في مائع محسن.

البوزون جسيمة دقيقة ذات دوران بعدد صحيح والتي تكون 0، 1، 2 وهكذا. وحــسب دورانهــا، فجــسيماتها هي اجتماعية جداً، ومشاركة في سلوك جماعي والذي يقود إلى الليزرات والموائع المحسنة والموصلات الفائقة.

قانــون بــويل الملاحظ أن حجم الغاز يتناسب عكسياً مع ضغطه، وبمضاعفة ضغطه يقسم الحجم إلى قسمين.

الحركة البراونية الحركة المذعورة العشوائية لجسم كبير تحت اطلاق مسدس للاجــسام الصغيرة، فالمثال الأكثر شهرة هو مسار حبات الطلع المتعرجة خــلال المــاء. والظاهــرة اكتــشفها عالم النبات روبرت براون 1827، والشرح المنظر لاينشتاين عام 1905 كان دليلاً قوياً لوجود الذرات.

السببية الفكرة المسببة التي تسبق التأثير. والسببية هي أكثر المبادئ شهية في الفيزياء. على كل حال فالفعاليات الكمية مثل انحلال الذرات تظهر مؤثرة بدون سبب مسبق.

حد شاندراسيخار الكتلة الأكثر احتمالية للقزم الأبيض. تعتمد على التركيب الكيميائي للنجم، لكن القزم الأبيض مصنوع من الهيليوم بحوالى 44% أكبر من كتلة الشمس. وبالنسبة لنجم أكبر من ذلك، فضغط تحلل الإلكترون الداخلي يمنع الجاذبية من التصادم بنجم اضافي.

جهاز الشحنة المزدوجة (ج ش م) كشاف ضوء إلكتروني أكثر حساسية والذي يستطيع أن يلتقط أقرب إلى 100% من الضوء الذي يسقط عليه. فحيث ان الالواح البصرية تلتقط فقط 1% فإن (ج ش م) يسمح للتلسكوب أن يكون أفضل بمئة مرة من مساحة الضوء المجمعة.

الرابطة الكيميائية "الصمغ" الذي يلصق الذرات معاً ليصنع جزيئات.

حدس الحماية الزمنية ان تقييد انتقال الزمن هو مستحيل. وحتى الآن لم يبرهن ذلك. وبالحقيقة، ان قوانين الفيزياء تبدو انها تسمح بانتقال الزمن، لكن الفيزيائيين مثل ستيفن هوكنغ مقتنعون أن غير المكتشف من قانون الطبيعة يمنع آلة الزمن.

الفيزياء الكلاسيكية الفيزياء غير الكمية. وبالحقيقة هي الفيزياء قبل 1900 عندما اقترح الفيزيائي الالماني ماكس بلانك أولاً ان الطاقة ربما تأتي في قطعة منفصلة، أو كمات. واينشتاين كان أول من أدرك أن هذه الفكرة غير متطابقة مع الفيزياء الكلاسيكية.

المنحنى المغلق شبيه الزمن (م م ش) منطقة الزمان - المكان المشوهة، وان دورات الزمن ترجع حول نفسها بنفس الطريقة عندما ترجع دائرة الفضاء حول نفسها في مسار رياضي. إن (م م ش) بلهجة مشتركة هي آلة الزمن. وتسمح قوانين الفيزياء الحديثة بوجودها.

المذنب جسم مثلج صغير، طوله عدة كيلومترات ويدور في فلك نجم. ومعظم مدارات المذنبات حول الشمس خلف الكواكب الخارجية في غيمة ضخمة

تعرف بغيمة اورت. مثل الكواكب، فإن المذنبات هي بقايا بناء ترك فوق تشكيل الكواكب.

تأثيـــر كمبتون هو ارتداد الاكترون عندما يتعرض إلى طاقة ضوئية فقط إذا شبّه الإلكترون بكرة بليارد صغيرة تضرب كرة بليارد أخرى. وتأثيره هو توضيح بياني بأن الضوء يصنع من جسيمات أشبه برصاصات صغيرة أو الفوتونات.

الموصل مادة يجري فيها التيار الكهربائي.

قانـــون الحفـــظ قانون الفيزياء الذي يشرح الحقيقة بانها كمية لا تتغير مطلقاً. فمثلاً حفظ الطاقة يثبت ان الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وتتحول فقط من شـــكل لآخـــر. فمـــثلاً الطاقة الكيميائية للبترول تتحول إلى طاقة حركية للسيارة.

حفظ الطاقة مبدأ الطاقة الذي لا يفنى ولا يستحدث، فهي تتحول فقط من شكل لآخر.

زوج كوبـــر إلكتـــرونان بـــدوران عسكي بحيث يزدوجان في بعض المعادن عـــند درجـــة حرارة منخفضة. إن ازواج كوبر غير مشابهة للإلكترونات الفـــردية، وهـــي بـــوزونات. ويمكـــن أن تـــزدحم فـــي حالـــة مشابهة، وتتحـــرك معـــاً فـــي خطـــوط مغلقـــة خـــلال معـــدن شبيه بذراع غير مقاومـــة للحركة. والتيار الكهربائي في "الموصلية الفائقة" يمكن أن يستمر إلى الأبد.

مـــبدأ كوبرنيكي فكرة أنه لا يوجد شيء خاص حول مكاننا بالكون، اما زمان أو مكان. هذه رؤية عامة لمعرفة كوبرنيكوس بأن الأرض هي ليست في مكـــان خاص في مركز النظام الشمسي لكن هناك فقط كوكب آخر يدور حول الشمس.

إشعاع الخلفية الكونية "الشفق". ما يزال الأمر غير قابل للتصديق بأن الفضاء قبل 13.7 مليار سنة كان الشعاع المايكروي الفاتر ويساوي −270 درجة مئوية.

الأشعة الكونية نوى ذرية عالية السرعة، اغلبها بروتونات، من الفضاء. والطاقة المنخفضة تأتي من الشمس، والطاقات العالية تأتي من النجم المستسعر الضياء. ان اصل الأشعة الكونية ذات الطاقة العالية جداً والجسيمات ذات الطاقة الأكبر بملايين المرات من الطاقة المنتجة حالياً على الأرض هو أحد الألغاز الكبرى غير المحلولة لعلم الفلك.

علم الفلك العلم النهائي. وهو العلم الذي موضوع المادة والتطور وقَدَر الكون الكلي هو الاصل.

النظام الكوني كلمة أخرى للكون ص 212.

الطاقة الداكنة "مادة" لغزية بجاذبية تنافرية. اكتشفت بشكل غير متوقع عام 1998، وهي غير مرئية، تملأ كل المكان وتبدو بأنها تدفع جزءاً من المجرات وتسرع تمدد الكون. ولا أحد يعرف ماهيتها.

المادة الداكنة المادة في الكون التي لا تعطي ضوءاً. ويعرف الفلكيون انها موجودة بسبب جاذبية التركيبة غير المرئية والمنحنية لمسارات النجوم المرئية والمجرات التي تطير عبر الفضاء. وهناك ما بين 6 إلى 7 مرات أكثر من المادة الداكنة في الكون بشكل طبيعي، كمادة باعثة للضوء. وتعريف المادة الداكنة هو مسألة بارزة في علم الفلك.

التشتت عبارة عن تقنية تدمير الطبيعة الكمية الغريبة للجسم، وكأنها تكون في أماكن عديدة وفي آن واحد. والتشتت يحدث عندما "يعرف" العالم الخارجي شيئاً ما عن الجسم. ان المعرفة ربما تأخذ مسار الفوتون المفرد للضوء أو جزيئة هواء تقفز من الجسم. وبما أن الأجسام الكبيرة مثل الطاولة يلتصق فيها الفوتون وجزيئات الهواء ولا تستطيع البقاء معزولة عن محيطها لفترة طويلة، فإنها تفقد قابليتها لتكون في أماكن عديدة وفي وقت واحد وفي زمن قصير؛ بحيث لا يمكن ملاحظته لقصر زمنه.

ضغط التحلل النحلة في صندوق أشبه بضغط ممارس بالإلكترونات المضغوطة في حجم صغير من الفضاء. وكنتيجة لمبدأ اللادقة لهايزنبرك

فإنـــه يبـــرز بسبب جسيمة دقيقة تكون في مكان محدد ومعروفة بسرعتها العالية غير الدقيقة. وضغط التحلل للإلكترونات يمنع الاقزام البيضاء من الانكمـــاش تحـــت جاذبيتها، بينما ضغط التحلل للنيوترون له نفس الشيء لنجوم النيوترون.

الكثافة كتلة جسم ما مقسومة على حجمه. والهواء له كثافة منخفضة، والحديد له كثافة عالية.

البعد اتجاه مستقل في الزمان – المكان. والعالم من حولنا له ثلاثة ابعاد مكانية (يمين – يسار، أمام – خلف، أعلى – أسفل) وبعد واحد للزمن (المستقبل – الماضي). ونظرية الوتر الفائق تتطلب ان يكون للكون ستة ابعاد مكانية إضـــافية. وتخـــتلف بشكل جذري عند الابعاد الأخرى لأنها تلتف بشكل صغير جداً.

تجـــربة الشق المزدوج تجربة الجسيمات التي تقترب من شاشة فيها شقان مـــتوازيان قـــريبان مـــن بعضهما. وعلى الجانب البعيد للشاشة، تختلط الجـــسيمات أو "تتداخل" مع بعضها البعض لتنتج "نموذج تداخل" متميز علـــى الـــشاشة الثانية. والشيء المذهل ان النموذج يتشكل حتى عندما تقذف الجسيمات على الشقين في زمن واحد، مع نجوم كبيرة فيما بينها. وبكلمـــات أخـــرى، عندما لا يوجد هناك احتمال لاختلاطها مع بعضها الـــبعض، فالنتـــيجة ســـماها ريتشارد فينمان: إضاءة "اللغز المركزي" للنظرية الكمية.

الشحنة الكهربائية صفة الجسيمات المجهرية والتي تكون في نوعين، موجبة وسالبة. والإلكترونات تحمل شحنة سالبة، والبروتونات لها شحنة موجبة. والجسيمات التي لها نفس الشحنة تتنافر. بينما الجسيمات المختلفة تتجاذب فيها الشحنات.

التـــيار الكهربائي سيل من الجسيمات المشحونة، وعادة ما تكون الإلكترونات والتي تجري خلال موصل.

المجال الكهربائي مجال القوة التي تحيط بالشحنة الكهربائية.

القوة الكهرومغناطيسية إحدى أربع قوى أساسية في الطبيعة. وهي المسؤولة عـــن صـــمغ كل المادة العادية بما فيها الذرات في اجسامنا والذرات في الصخور أسفل اقدامنا.

الموجة الكهرومغناطيسية الموجة التي تتألف من مجال كهربائي تنمو وتموت بـــشكل دوري ومتـــناوب مع مجال مغناطيسي ينمو ويموت بشكل دوري أيـــضاً. فالمـــوجة الكهرومغناطيسية تتولد بشحنة كهربائية متذبذبة وتنتقل عبر المكان بسرعة الضوء.

الإلكترون جسيمة داخل الذرة مشحونة بشحنة سالبة، وموجودة بفلك النواة في الذرة. وابعد ما نُخبر عنه، فإنه جسيمة أساسية، لا يمكن أن تقسم.

العنصر المادة التي لا يمكن أن تختزل إلى شيء أصغر بوسائل كيميائية. كل الـــذرات للعنصر المعطى تملك نفس العدد من البروتونات في نواها. مثلاً ان ذرة الهيدروجين لها بروتون واحد، وذرة الكلور لها 17 وهكذا...

الطاقـــة هي الكمية التي يستحيل تقريباً تعريفها! الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، بل تتحول فقط من شكل إلى آخر. ومن بين الوسائل المألوفة العديدة هناك طاقة الحرارة، وطاقة الحركة، والطاقة الكهربائية، وطاقة الصوت.

التـــشابك تشابك اثنين أو أكثر من الجسيمات الكهرومغناطيسية لذا فإنها تفقد فرديتها وبوسائل عديدة تكون كمية فردية.

حادثـــة الأفـــق الطريقة الوحيدة "الغشاء" المحيطة بالثقب الأسود. فاي شيء يسقط - مادة أو ضوء - لا يمكن أن يخرج مرة أخرى.

المادة الغريبة مادة افتراضية بجاذبية تنافرية.

الكون المتمدد هروب المجرات من بعضها البعض نتيجة لتشكّل الكون.

الفرميون جسيمة مجهرية بدوران (برم) نصف عدد صحيح مثل ½، $^3/_2$، $^5/_2$ وهكـــذا... وصفة دورانها ان الجسيمات تجذب بعضها البعض. وسلوكها غير الاجتماعي هو السبب الذي يجعل الذرات الموجودة والأرضية أسفل اقدامنا صلبة.

سـحب الاطـار السحب حول الزمان – المكان بجسم دوران ضخم. والتاثير صـغير جداً قابل للقياس في فراغ الأرض لكنه ضخم قرب الثقب الأسود ذي الدوران السريع. فالثقب الأسود يسقط النور على العين بالتفاف الزمان – المكان.

القـوة الأساسـية إحدى القوى الأساسية الاربع والتي يعتقد انها تقع تحت تأثيـر كـل الظواهـر. القـوى الاربـع هـي قـوة الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيـسية، والقـوة القوية والقوة الضعيفة. والشك القوي لدى الفيـزيائيين هو بأن تلك القوى مجرد اوجه لقوة فائقة مفردة. وبالحقيقة أثبتت التجارب مسبقاً ان القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية لها جوانب مختلفة لنفس العملة.

الجـسيمة الأساسـية إحدى أحجار المبنى الأساسي لكل المادة. وحالياً يعتقد الفيـزيائيون ان هناك ستة كواركات مختلفة وستة لبتونات مختلفة مكونة معـاً 12 جـسيمة أساسـية. والامـل ان الكـوارك يوجد باوجه مختلفة للبتونات.

الاندماج انظر الاندماج النووي ص 205.

المجرة أحد أحجار مبنى الكون، والمجرات هي جزر عظيمة للنجوم. جزيرتنا هـي درب اللبانة وهي حلزونية الشكل وتحتوي حوالى 200,000 مليون نجم.

الغاز مجموعة ذرات تطير خلال المكان أشبه بعاصفة من النحل الناعم.

النظـرية النسبية العامة نظرية اينشتاين للجاذبية، وتبين ان الجاذبية لا شيء أكثـر مـن اعـوجاج الزمان – المكان. النظرية تشارك بافكار عدة غير مـشاركة بنظرية نيوتن للجاذبية. احداها لم تكن شيئاً بخصوص الجاذبية المنتقلة أسرع من الضوء. والأخرى هي شكل من أشكال الطاقة لها كتلة كمـصدر للجاذبية. وبين كل ذلك، تتوقع النظرية بالثقوب السوداء والكون المتمدد وتلك الجاذبية التي تلوي مسار الزمان – المكان.

الجيوديسي أقصر خط بين نقطتين في فضاء منحنٍ أو معوج.

قـوة الجاذبـية الاضـعف بين القوى الأساسية في الطبيعة. والجاذبية تقريباً وضـعت بقانون نيوتن للجاذبية ووصفت بشكل أكثر دقة بنظرية الجاذبية لاينـشتاين؛ أي النظـرية النـسبية العامـة. والنسبية العامة تحطمت في الانفرادية في قلب الثقب الأسود، والانفرادية في مولد الكون. والفيزيائيون يبحـثون عن وصف احسن للجاذبية. لقبت النظرية سابقاً بالجاذبية الكمية، وسوف تشرح بدلالة تبادل الجسيمات المسماة الغرافيتون.

التواء جاذبية الضوء التواء مسار الضوء الذي يمر بالجسم الضخم، والسبب ان المكان في جوار الجسم المشوه أشبه بالوادي، والضوء ليس لديه خيار للانتقال عبر مسار منحنٍ.

الازاحة الحمراء للجاذبية فقدان طاقة الضوء المتسلق عبر الوادي في الزمان – المكان حول جسم سماوي ضخم. فحيث ان "لون" الضوء متعلق بطاقته، فالضوء الأحمر يملك طاقة أقل من الضوء الازرق، ويتحدث الفلكيون عن الضوء لأنه مُزاحٌ إلى النهاية الحمراء للطيف أو "الازاحة الحمراء".

المـوجة الجاذبـية موجة منتشرة خلال الزمان – المكان. والأمواج الجاذبية تـتولد بحـركات بنفـسجية للكـتلة مثل اندماج الثقوب السوداء. ولكونها ضعيفة، فلا يمكن أن تكشف مباشرة لحد الآن.

الجاذبية انظر قوة الجاذبية ص 199.

نـصف العمـر الزمن الذي يأخذ نصف النوى في عينة اشعاعية لتتفكك. بعد نـصف عمـر واحد، نصف الذرات سوف تترك. وبعد نصف عمر ثانٍ، ربعهـا سـيترك. وبعـد ثلاثة انصاف عمر فإن ثمنها سيترك وهكذا... وانصاف العمر قد تكون من مجرد ثانية إلى مليارات السنين.

مبدأ اللادقة لهايزنبرك مبدأ النظرية الكمية. يذكر فيه ان الأزواج الكمية مثل موضـع الجـسيمات وسـرعاتها لا يمكن أن تعرف في آن واحد بالدقة المطلقة. مبدأ اللادقة يضع حداً على الكيفية الجيدة لانتاج هذه الأزواج كما هو معروف. وعملياً يعني إذا كانت سرعة الجسيمة معروفة بدقة، فإنه من المـستحيل معرفة أين تكون الجسيمة؛ وبالعكس. إذا عُرف الموضع بدقة،

فـسرعة الجسيمة غير معروفة. وبتحديد ماذا نستطيع ان نعرف، يفرض مـبدأ اللادقة لهايزنبرك "تقريباً" على الطبيعة. وإذا نظرنا عن قرب، فكل شيء ضبابي أشبه بصورة جريدة تذوب في نقطة لا معنى لها.

الهيلـيوم ثاني أخف عنصر في الطبيعة، والوحيد الذي اكتشف على الشمس قبل اكتشافه على الأرض. الهيليوم هو ثاني عنصر مشترك في الكون بعد الهيدروجين ويقارب 10% من كل الذرات.

الافق الكون له افق أشبه بالافق المحيط بسفينة في بحر. والسبب لافق الكون ان الـضوء له سرعة محددة، والكون له وجود لزمن محدد. وهذا يعني اننا نستطيع فقط ان نرى الأجسام التي يكون لدى ضوئها الزمن ليصلنا مـنذ تـشكّل الكون. والكون هو أشبه بفقاعة متمركزة في الأرض، اما الأفق فهو سطح الفقاعة وكل يوم يكبر الكون (بيوم واحد)، يتمدد الأفق للخارج واشياء جديدة تصبح مرئية، مثل السفن التي تأتي فوق الأفق في البحر.

مسألة الأفق مسألة ان الاجزاء المترامية الاطراف للكون والتي لا تكون على اتـصال مـع بعضها، حتى مع بدء نشأة الكون، لديها صفات متماثلة مثل الكثافة ودرجة الحرارة. وتقنياً هي موجودة دائماً خلف كل افق. ان نظرية الأفـق تزودنا بطريقة تكون فيها الأفق على اتصال مع بدء نشأة الكون، وبذلك تستطيع ان تحل مسالة الأفق.

الهيدروجـين العنـصر الاخف بالطبيعة. تتألف ذرة الهيدروجين من بروتون واحد يدور حوله إلكترون واحد. وما يقارب لـ 90% من كل الذرات في الكون هي ذرات هيدروجين.

حـرق الهيدروجـين اندماج الهيدوجين في الهيليوم ويترافق ذلك مع تحرير كميات كبيرة من رابطة الطاقة النووية. وهو مصدر طاقة الشمس ومعظم النجوم.

الـتوازن الهيدروسـتاتيكي إن الحالة التي تحاول فيها قوة الجاذبية أن تصدم نجماً ما هي متوازنة بشكل تام على قوة غازها الساخن المدفوع للخارج.

القـصور الذاتـي مـيل الجسم الضخم عندما يكون في حركة للمحافظة على حـركته، بـسرعة ثابـتة وبخـط مباشـر في مكان غير متعرج وعلى طـول الخـط الواصل بين نقطتين في مكان مشوه. ولا أحد يعرف اصل الزخم.

عـزم القـصور الذاتـي قـوة تمنعنا من شرح حركة فعلية بدون سبب غير القصور الذاتي. مثل القوة الطاردة المركزية. فلا توجد قوة ترمينا للخارج عندما نكون داخل سيارة تدور حول ركن حاد. فنحن نواصل الحركة في خـط مباشـر بسبب قصورنا الذاتي، وداخل السيارة بسبب حركتها على مسار منحنٍ يعترضنا.

نظـرية التـضخم فكـرة أن أول ثانية من تشكّل الكون مرت بتمدد سريع هائـل. وجرى التضخم إثر ذلك وهو يشبّه بانفجار قنبلة هيدروجينية، فالتضخم استطاع حل بعض المسائل مع نظرية تشكّل الكون مثل مسألة الأفق.

تحت الحمراء نوع من الضوء غير المرئي الذي يغطى باجسام داكنة.

الـتداخل قـدرة موجتين على المرور خلال بعضهما بعضاً لتندمجا، ويقوى عـندما تـتطابق ارتفاعاتهمـا، ويلغـى عندما ينطبق ارتفاع احداهما مع منخفض الأخرى.

نمـوذج الـتداخل نموذج الخطوط المضيئة والمظلمة التي تظهر على الشاشة المـضاءة بالضوء من مصدرين. وسبب النموذج هو ان الضوء قادم من مصدرين مقويين في بعض الأماكن على الشاشة ومُلغى في أماكن أخرى.

وسـط بين النجوم الغاز الضعيف والغبار العائم بين النجوم. فقرب الشمس، يشمل هذا الغاز ذرة هيدروجين واحدة في كل 3 سم^3، مكوناً فراغاً بعيداً من أي شيء قابل لانجازه على الأرض.

فراغ بين النجوم الفراغ بين النجوم.

الأيون ذرة أو جزيئة فقدت واحداً أو أكثر من إلكترونات المدار، ولذا فإن لها شحنة كهربائية موجبة صافية.

النظيـــر شكل محتمل للعنصر. والنظائر مميزة بكتلتها المختلفة. فمثلاً الكلور يكــون في نظيرين مستقرين بكتلة 35 و37. والكتلة المختلفة هي بسبب اخــتلاف عدد النيوترونات في نوياتها. فمثلاً الكلور-35 يحتوي على 18 نيوتــروناً والكلــور-37 يحتوي على 20 نيوتروناً (وكلاهما يحوي نفس العدد من البروتونات 17، لتعيين هوية العنصر).

الجــول وحدة علمية قياسية للطاقة. وطاقة الحركة لكرة سلة قُذفت هي حوالى 10 جــول، والطاقــة الكيميائية للتفريغ الضوئي هي حوالى 10 مليارات جول.

نقطــة لامــبدا درجة حرارة التي يبدأ عندها سائل الهيليوم بالتحول إلى مائع فائق.

الليــزر مــصدر ضــوء لطبــيعة اجتماعية للفوتونات. والبوزونات تأتي في المقدمة. خصوصاً ان الفوتونات المجردة تمر خلال المادة الأكثر احتمالية مــن الليــزرات الأخــرى التي تشع بنفس الصفات. والنتيجة هي انهيار الفوتونات التي تنتقل بخطوة مغلقة.

ثبوتــية الــضوء الميزة في كوننا هي ان سرعة الضوء في الفراغ هي دائماً نفــسها، بغض النظر عن سرعة مصدر الضوء أو عمن يراقب الضوء. هــذا هــو أحــد ركني النظرية النسبية الخاصة لاينشتاين، أما الآخر فهو كونها النسبية العامة.

سرعة الضوء حدود السرعة الكونية 300,000 كم/ثانية.

التواء الضوء انظر التواء جاذبية الضوء ص 199.

الــسنة الضوئية وحدة قياس المسافات في الكون. وهي المسافة التي يقطعها الــضوء فــي سنة واحدة بالفراغ، ووجد انها تساوي 9.46 تريليون كيلو متر.

انقــباض لورنتــز انكمــاش الجسم المتحرك نسبة "للمراقب". فالمراقب يرى الجسم ينكمش في اتجاه حركته. وتأثيره ملاحظ فقط عندما يتحرك الجسم بالقرب من سرعة الضوء نسبة للمراقب.

اللمعـــان الكمـــية الكلية للضوء المضخ في الفضاء في كل ثانية من قبل جسم سماوي مثل النجم.

المجال المغناطيسي مجال القوة التي تحيط بالمغناطيس.

عــوالم مــتعددة هي فكرة أن النظرية الكمية تصف كل شيء، وليس مجرّد العالم المجهري للذرات وتركيباتها. فالنظرية الكمية تسمح للذرة ان تكون فـــي مكانـــين في آن واحد، وهذا يعني ان الطاولة تستطيع ان تكون في مكانين في آن واحد. وطبقاً لفكرة عوالم متعددة، فعقل الشخص الذي يرى الطاولـــة منقـــسم إلى قسمين؛ جزء يرى الطاولة موجودة في مكان واحد والآخـــر يـــراها في مكان آخر. فالعقلان موجودان في واقعين أو كونين منفصلين.

الكـــتلة مقـــياس لكمـــية المـــادة في الجسم. والكتلة هي معظمها شكل الطاقة المركز، فالغرام الواحد يحتوي على نفس المقدار من الطاقة الموجودة في 100,000 طن من الديناميت.

معـــادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية هي حفنة معادلات انيقة، كتبها جيمس كليـــرك ماكـــسويل عـــام 1868، وتلخص بعناية كل الظواهر الكهربائية والمغناطيـــسية. والمعـــادلات تظهـــر ان الـــضوء عـــبارة عـــن موجة كهرومغناطيسية.

درب اللبانة مجرتنا.

الجـــزيئة مجمـــوعة ذرات ملتـــصقة معاً بقوى كهرومغناطيسية. فذرة واحدة كالكـــربون تـــربط نفسها وذرات أخرى لصنع عدد ضخم من الجزيئات. ولهـــذا الـــسبب، قـــسم الكيميائيون الجزيئات إلى: "عضوية" مستندة إلى الكربون، و"غير العضوية" ما تبقى.

العزم عزم الجسم هو مقياس لكم الجهود المطلوبة لايقافه. فمثلاً، حاوية زيت بالرغم من انها تسير بضعة كيلومترات بالساعة، فمن الصعب جداً ايقافها أكثـــر مـــن إيقـــاف ســـيارات سباق فورميلا 1 التي تسير بسرعة 200 كم/ساعة. فحاوية الزيت يقال ان لها عزماً أكبر.

حفظ الزخم مبدأ الزخم الذي لا يفنى ولا يستحدث.

مــتعدد الاكوان افتراضية مكبرة للاكوان حيث ان كوننا يوجد ليكون بين عدد ضخم من الاكوان المفصولة والمتقطعة. فمعظم الاكوان تموت وهذا غير مهم. فقط الاكوان الصغيرة تؤدي عمل قوانين الفيزياء لتدعم انبثاق النجوم والكواكب والحياة.

الميون جسيمة داخل الذرة قصيرة الحياة تسلك سلوك نسخة ثقيلة للإلكترون.

نيوتــرينو جسيمة داخل الذرة متعادلة مع كتلة صغيرة جداً تتنقل بالقرب جداً مــن ســرعة الضوء. فالنيوترينوات تتفاعل بصعوبة مع المادة. فعلى كل حــال، عــندما يوجد عدد كبير من النيوترينوات، تستطيع ان توجد نجماً كبيراً كجزء من نجم متفجر كبير.

النيوتــرون أحــد حجــري المبنى الأساسي للنواة الذرية في مركز الذرات. فالنيوترونات لها بالأساس نفس كتلة البروتونات لكن ليس لها شحنة. ولذا فإنها غير مستقرة خارج النواة وتتحلل بحدود 10 دقائق.

نجــم نيوترون نجم ينكمش تحت تأثير جاذبيته بحيث إن معظم مادته ضغطت في نيوترونات. ونموذجياً هو نجم بمقطع عرضي 20 إلى 30 كيلومتراً. فمكعب السكر بتركيب نجم نيوترون يزن أكثر من الجنس البشري باكمله.

قانــون الجاذبية الكوني لنيوتن ان فكرة إن كل الأجسام تسحب بعضها عبر الفضاء بقوة تعتمد على انتاج كتلتها الانفرادية وعكس مربع المسافة بينها. وبكلمات أخرى، إذا تضاعفت المسافة بين الأجسام، فالقوة تصبح أضعف أربــع مرات، وإذا تضاعفت المسافة ثلاث مرات، فستكون القوة أضعف بتسع مرات وهكذا... فقانون نيوتن للجاذبية جيد للتطبيقات اليومية لتكون مقربة. وحسّن اينشتاين ذلك في النظرية النسبية العامة.

اللاموضعية القابلية المخيفة للأهداف الخاضعة للنظرية الكمية لتستمر "لتعرف" حول كل حالة حتى عندما تفصل بمسافات كبيرة.

الطاقــة الــنووية الطاقة الزائدة التي تطلق عندما تتغير نواة ذرية واحدة إلى نواة ذرية أخرى.

الاندماج النووي ترابط نواتين خفيفتين لصنع نواة ثقيلة. وهو عبارة عن عملية تنتج في تحرير طاقة ربط نووية. فمعظم عملية الاندماج يكون بالتصاق نوى الهيدروجين لتكوين الهيليوم في قلب الشمس لانتاج ضوء الشمس.

التفاعل النووي اية عملية تحول نوعاً واحداً للنواة الذرية إلى نوع آخر من النواة الذرية.

النوية المصطلح المستعمل للبروتونات والنيوترونات؛ وهما حجرا الأساس للنواة الذرية.

النواة انظر النواة الذرية ص 192.

معجل الجسيمات ماكينة عملاقة، غالباً ما تكون بشكل مسار السباق الدائري، بحيث تتعجل الجسيمات داخل الذرة بسرعات عالية وتتصادم مع بعضها. ففي مثل هذا التصادم فإن طاقة الحركة للجسيمات تصبح متوفرة لإيجاد جسيمات جديدة.

فيزياء الجسيمات هو المسعى لاكتشاف أحجار المبنى الأساسي والقوى الأساسية للطبيعة.

مبدأ الاستثناء لباولي منع جسيمين اثنين مجهريين (فرميونات) من المشاركة بنفس الحالة الكمية. مبدأ الاستثناء يوقف الإلكترونات وهي الفرميونات من ان يتراكم بعضها فوق البعض الآخر. وبالنتيجة يشرح وجود ذرات مختلفة وتنوّع العالم حولنا.

الخلية الضوئية جهاز جسيمة لاستكشاف التأثير الكهروضوئي. والقطع للتيار الكهربائي عندما يكسر الجسيم شعاع الضوء الساقط على المعدن يستعمل للسيطرة على بعض الأشياء. كمثال، الباب الآلي في مدخل مركز التسوق.

التأثير الكهروضوئي طرد الإلكترونات من سطح المعدن بالفوتونات الضاربة للمعدن.

الفوتون جسيمة ضوئية.

قوانين الفيزياء القوانين الأساسية التي تنسق سلوك الكون.

طاقة بلانك الطاقة العالية عندما تصبح الجاذبية قابلة للمقارنة بقوّة مع القوى الأساسية الأخرى في الطبيعة.

طول بلانك مقياس طول رقيق رائع عندما تصبح قوة الجاذبية من الممكن مقارنتها مع قوى أساسية أخرى في الطبيعة. ان طول بلانك هو تريليون تريليون مرة أصغر من الذرة. ويوافق طاقة بلانك. فالمسافات الصغيرة ترادف الطاقات العالية بسبب الموجة الطبيعية للمادة.

بلازما غاز مشحون كهربائياً من الأيونات والإلكترونات.

البوزترون جسيم مضاد للإلكترون.

دقة الحضيض لعطارد حقيقة ان مدار عطارد، الكوكب الأقرب للشمس، لا يتبع مدار قطع ناقص بشكل مباشر لكن نوعاً ما مدار قطع ناقص باقرب نقطة للشمس تتحرك تدريجياً حول الشمس، فينتج في سباق كوكب أشبه بنموذج الوردة. والشرح هو ان جاذبية الشمس تضعف مع مسافة البعد عن الشمس وتكون أكثر بطئاً من حالة جاذبية نيوتن، والتي وحدها تتوقع المدار الاهليليجي. انها تضعف أكثر بطئاً حسب صورة اينشتاين، والجاذبية نفسها هي مصدر أكبر للجاذبية.

مبدأ التكافؤ فكرة ان الجاذبية والتعجيل هما غير قابلين للتمييز.

البروتون أحد حجري البناء في النواة. والبروتون يحمل شحنة كهربائية موجبة مساوية ومعاكسة للإلكترون.

النجم المشع نجم نيوترون يدور بسرعة ويمسح حزمة مكثفة من الأمواج الراديوية حول السماء الشبيهة بالفنار.

ك ح ك انظر الكهروحركية الكمية ص 207.

الكم أصغر قطعة يمكن أن ينقسم إليها الشيء. والفوتونات كمثال هي كمات من المجال الكهرومغناطيسي.

الحاسوب الكمي آلة تستكشف حقيقة الانظمة الكمية مثل الذرات التي تستطيع ان

تكـــون بحـــالات مختلفة في وقت واحد لتحمل حسابات عديدة في آن واحد. فأحسن حاسوب كمي يعالج فقط حفنة من الارقام الثنائية أو الوحدات، لكن في مبدأ الحواسيب يمكن أن تكون حواسيب ملائمة متفوقة الحجم.

الكهروحـــركية الكمـــية نظرية حول كيفية تفاعل الضوء مع المادة. والنظرية تـــشرح كـــل شـــيء حول عالم اليوم كتفسير سبب صلابة الأرض تحت قدميك، وكيفية عمل الليزر، ومن كيمياء الأيض إلى عمليات الحاسوب.

عدم قابلية التمييز الكمية عدم القابلية للتمييز بين حدثين كميين. وربما يكونان غيـــر قابلـــين للتمييـــز كمثال احتوائهما على جسيمات متماثلة أو ببساطة بـــسبب الأحـــداث غيـــر الملاحظة. فالشيء الحاسم هو احتمالية الأمواج المـــشاركة بـــتداخل احداث غير قابلة للتمييز. وهذا وما يقود إلى سلوك الظواهر الكمية.

العـــدد الكمـــي العدد الذي يحدد الصفة المجهرية التي تأتي بقطع كدوران أو طاقة مدارية للإلكترون.

الاحتمالية الكمية الفرصة أو الاحتمالية أو الحدث المجهري. وعلى الرغم من ان الطبـــيعة تمنعـــنا مـــن معرفة الأشياء بدقة، فلا يهم ان كان يسمح لنا بمعرفة الاحتماليات بدقة.

التراكب الكمي وضعية الهدف الكمي للذرة في أكثر من حالة واحدة في زمن محـــدد. وربمـــا تكـــون فـــي أماكن مختلفة في آن واحد. انه التفاعل أو "الـــتداخل" بـــين الحـــالات الانفرادية في التراكب الذي هو أساس الغرابة الكمية. والتشتت يمنع مثل هذا التفاعل ولذلك يدمر السلوك الكمي.

النظـــرية الكمية اساساً نظرية عالم الذرات المجهري ومركباتها. والتي تفسّر العوالم المتعددة وتصف عالم المقياس الكبير.

الـــنفق الكمـــي القابلية الاعجوبية للجسيمات المجهرية لتفر من سجونها. مثلاً جسيمة الفا التي تستطيع ان تدخل نفقاً خلال حاجز داخل النواة، والمكافئ للقفـــز العالـــي لجدار بارتفاع اربعة امتار. والنفق هو نتيجة أخرى لصفة شبه موجة للجسيمات المجهرية.

عـدم قابلية التوقع الكمية عدم قابلية التوقع للجسيمات المجهرية. سلوكها هو غير قابل لتوقعه حتى في المبدأ. على العكس من عدم قابلية التوقع بقذف العملة. انها غير قابلة للتوقع فقط عملياً. من ناحية المبدأ، إذا عرفنا شكل العملـــة والقـــوة الممارســـة عليها والهواء الذي يجري حولها وغير ذلك نستطيع توقع النتيجة.

الفـــراغ الكمـــي الـــصورة الكمـــية للفضاء الفارغ. وبعيداً عن الفراغ تتهيج بجـــسيمات مجهرية ذات حياة قصيرة والتي تسمح لمبدأ اللادقة لهايزنبرك بلمح وجودها وغيابها.

الـــنجم الفلكـــي البعيد المجرة التي تنقاد معظم طاقتها من المادة المسخنة إلى ملايـــين الـــدرجات كدوامة في ثقب اسود عملاق مركزي. فالنجم الفلكي البعيد يولّد ضوءاً أكبر من مائة مجرة عادية من الحجم الاصغر من النظام الشمسي، مكوناً الأهداف الأكثر قدرة في الكون.

القطعـــة الكمية القطعة الكمية أو الرقم الثنائي. بينما تقدم القطعة العادية رقم 0 أو 1، فالقطعـــة الكمـــية توجد تراكباً فائقاً للحالتين 0 و1 في آن واحد. لأن خـــيوط القطـــع الكمية تعبر عنها بعدد كبير من الارقام الآنية، يمكن استعمالها لعمل رقم كبير من الحسابات في آن واحد.

الـــتحلل الاشعاعي الانحلال للنوى الذرية الفعلية غير المستقرة في نوى ذرية أخـــف واكثر استقراراً. فالعملية تترافق مع انبعاث جسيمات الفا أو بيتا أو اشعة جاما.

الاشعاعية صفة الذرات الخاضعة للتحلل الاشعاعي.

الـــراديوم عنـــصر مـــشع غير مستقل بشكل عالٍ اكتشفته ماري كوري عام 1898.

النظـــرية النـــسبية العامـــة تعميم اينشتاين لنظريته الخاصة. والنسبية العامة تتعلق بشخص يرى شخصاً آخر يتعجل نسبة له. ولأن التعجيل والجاذبية غيـــر قابلـــين للتمييـــز، فمـــبدأ التكافؤ، والنسبية العامة هما كذلك نظرية الجاذبية.

مبدأ النسبية الملاحظ ان كل قوانين الفيزياء هي نفسها بالنسبة للمراقبين المتحركين في سرعات ثابتة نسبة للبعض الآخر.

النظرية النسبية الخاصة نظرية اينشتاين المتعلقة بشخص يرى شخصاً آخر يتحرك بسرعة ثابتة نسبة له. وتظهر من بين الأشياء الأخرى، بأن حركة الشخص تنكمش في اتجاه حركة أشخاص آخرين بينما زمنهم يتباطأ، والتأثيرات تصبح أكثر ملاحظة كلما يقتربون من سرعة الضوء.

مجهر الفحص النفقي (م ف ن) جهاز يتحرك بإبرة دقيقة جداً عبر السطح للمادة وتتحول إلى حركة فوق-تحت في صورة المشهد الذري للسطح.

معادلة شرويدنغر معادلة تجمع الطريق لموجة الاحتمالية أو الدالة الموجية واصفة جسيمة تتغير مع الزمن.

التوافق فكرة أن الأحداث التي تظهر لتحدث في الوقت نفسه لشخص واحد تظهر لتحدث في نفس الوقت لكل شخص في الكون. النسبية الخاصة تبين ان هذه الفكرة خطأ.

الانفرادية موضع يتمزق فيه الزمان - المكان ولا يستطيع فهم النظرية الجاذبية لاينشتاين، النظرية النسبية العامة. فكانت هناك الانفرادية، نقطة حيث الكميات مثل درجة الحرارة ترتفع إلى ما لانهاية في بداية الكون، وهناك كذلك في مركز كل ثقب اسود.

النظام الشمسي الشمس وما يحيط بها من الكواكب والاقمار والمذنبات وفقاعات متنوعة أخرى.

الزمان - المكان في النظرية النسبية العامة الزمان والمكان يُريا اساساً بنفس الطريقة. لذلك يعاملان ككمية مفردة زمان - مكان. انه تشويه للزمان-المكان ليكوّن الجاذبية.

الخط الطيفي الذرات والجزيئات تمتص وتعطي ضوءاً باطوال موجية مميزة. فإذا ابتلع ضوء أكبر مما ينبعث، فالنتيجة خط غامق في الطيف للهدف السماوي. وبالعكس، إذا اشع أكثر مما ابتلع، فالنتيجة خط مضيء.

الطيف فصل الضوء إلى مركباته (الوان قوس قزح).

الدوران كمية ليس لها نظير يومي، وبحديث فضفاض، الجسيمات داخل الذرة ذات برم سلوكها كارتفاعات برم صغيرة (فقط لا تبرم على الإطلاق!).

النجم كرة عملاقة من الغاز تعيد ملء الحرارة التي تفقدها في الفضاء بوسائل الطاقة النووية المتولدة في قلبها.

نظرية الوتر أو الأوتار انظر نظرية الوتر الفائق ص 211.

القوة النووية القوية قوة المدى القصير التي تمسك البروتونات والنيوترونات معاً في نواة ذرية.

جسيمة داخل الذرة جسيمة أصغر من الذرة مثل الإلكترون والنيوترون.

الشمس النجم الاقرب.

الموصل الفائق إن مادة ما عندما تبرد لدرجة حرارة منخفضة فإنها توصل تياراً كهربائياً للابد بدون مقاومة. هذه القابلية مرتبطة بتغير الجسيمات الموصلة من الفرميونات إلى البوزونات. وخصوصاً ان ازواج الإلكترونات (الفرميونات) تشكل ازواج كوبر (البوزونات).

المائع الفائق مائع تحت درجة حرارة حرجة يطور صفات غريبة مثل القدرة على الجريان للاعلى ويتجمد خلال فجوات صغيرة مستحيلة. فافضل مثال هو سائل الهيليوم، حيث يصبح مائعاً فائق الميوعة تحت 2.17 درجة فوق الصفر المطلق. المائع المطلق له غرابته بالنظرية الكمية، وحقيقة أن ذرات الهيليوم هي البوزونات.

النجم المستسعر ضياءً انفجار كارثي لنجم ضخم. فالنجم المستسعر ضياءً – لوقت قصير – يتحوّل في كل المجرة لمائة مليار نجم عادي. ويترك خلفه نجم نيوترون عالي الضغط.

نظرية الوتر الفائق نظرية تفترض ان المكونات الأساسية للكون هي اوتار رقيقة للمادة. فالاوتار تتذبذب في الزمان – المكان بعشرة ابعاد. فالدفع الكبير لهذه الفكرة هو أنها ربما لديها القدرة لتكون وحدة أو "توحد" النظرية الكمية والنظرية النسبية العامة.

تاشيون جسيمة افتراضية تعيش حياتها دائماً متنقلة أسرع من الضوء.

الـــرواق البعيد الاستعمال الذكي للتضخم ليثبت (يرسّخ) الحالة الدقيقة لجسيمة مجهـــرية فـــي عنف ظاهرٍ لما هو مسموح بمبدأ اللادقة لهايزنبرك. هذا يمكّن المعلومة الضرورية لاعادة تركيب حالة الجسيمة لوضع ذاتي.

درجـــة الحرارة درجة تسخين الجسم. متعلقة بطاقة حركة الجسيمات المؤلفة منها.

قانـــون الثـــرموداينمك الثاني إقرار الفوضى التي لا يمكن أن تتناقص. وهذا مكافـــئ للقـــول ان الحـــرارة لا يمكن أن تجري من جسم بارد إلى جسم ساخن.

توســـع الـــزمن انخفـــاض الزمن للمراقب المتحرك قرب سرعة الضوء أو المجرب للجاذبية القوية.

دورة الزمن انظر المنحنى المغلق شبيه الزمن ص 194.

آلة الزمن انظر المنحنى المغلق شبيه الزمن ص 194.

انـــتقال الـــزمن الانـــتقال في الماضي أو المستقبل، بمعدل أكثر من سنة لكل سنة.

تـــناقض انتقال الزمن الوضعية غير المقبولة بأن انتقال الزمن يبدو مسموحاً. والأكثـــر شـــهرة هـــو فرضية الجد حين يرجع شخص ما بالزمن للخلف ويطلـــق الـــنار علـــى جده قبل أن تحمل به أمه. فكيف لهؤلاء أن يولدوا ليرجعوا بالزمن للخلف ويفعلوا الحادثة الشنيعة؟

كـــسوف كلـــي للشمس احتجاب الشمس بقرص القمر عندما يكون القمر بين الشمس والارض.

تناقض التوأم التناقض الذي يبرز عندما ينتقل أحد التوأمين بالقرب من سرعة الـــضوء إلـــى نجم الفا سنتوري ويرجع بينما (التوأم) يبقى الثاني بالبيت. وطـــبقاً للنظرية النسبية الخاصة، انتقال المكان لتوأم عمريهما أقل. ومن وجهـــة نظر أخرى، انها الأرض عندما تنحسر من المكان المنتقل للتوأم

قـــرب سرعة الضوء ولذلك يبقى في البيت من يكون عمره أقل. التناقض تــم حله بادراك ان الوضعيتين غير متكافئتين. فانتقال مكان التوأم يخضع لإبطـــاء وتعجيل حول نجم الفا سنتوري؛ والتعجيلات تتطلب نسبية عامة وليس نسبية خاصة.

فوق البنفسجية نوع من الضوء اللامرئي والذي يعطى للخارج باجسام ساخنة جداً وهو الذي تسفّعه أو تلوّحه الشمس.

مبدأ اللادقة انظر مبدأ اللادقة لهايزنبرك ص 200.

التوحـــيد الفكـــرة هي ان الطاقة الشديدة الارتفاع للقوى الأساسية الاربع في الطبيعة كانت واحدة وموحدة في اطار نظري مفرد.

الكـــون كـــل شيء هناك. وهذا مصطلح مرن يستخدم لما نسميه الآن النظام الشمـــسي. ومؤخـــراً، اســـتعمل لمـــا يسمى درب اللبانة. والآن يستعمل كمجمـــوع كلي للمجرات، حيث تظهر لتكون بما مقداره 10 مليارات في الكون.

تمدد الكون هروب المجرات من بعضها البعض كنتيجة لتشكّل الكون.

الكون الملاحظ كل الذي نستطيع رؤيته لافق الكون.

اليورانيوم أثقل العناصر الطبيعية الموجودة.

جـــسيمة افتراضية جسيمة لها وجود زائل، مفرقعة طبقاً للقيد المفروض بمبدأ اللادقة لهايزنبرك.

اللـــزوجة الاحتكاك الداخلي للسائل. فالدبس له لزوجة عالية والماء له لزوجة قليلة.

الدالـــة الموجـــية كمـــية رياضية تحتوي كل ما يعرف حول هدف كمي مثل الذرة. فالدالة الموجية تتغير مع الزمن طبقاً لمعادلة شرويدنغر.

الطول الموجي المسافة للموجة خلال انتقالها بدون ذبذبة كاملة.

ثنائـــية المـــوجة-الجسيمة القابلية للجسيمة داخل الذرة، ان تسلك سلوك كرة بليارد في مكان محدد أو تنتشر خارج الموجة.

القـــوة الـــنووية الضعيفة القوة الثانية المجربة بالبروتونات والنيوترونات في نـــواة ذرية، أما الأخرى فهي القوة النووية القوية. فالقوة النووية الضعيفة تستطيع ان تحول النيوترون إلى بروتون، ويتضمن بانحلال بيتا.

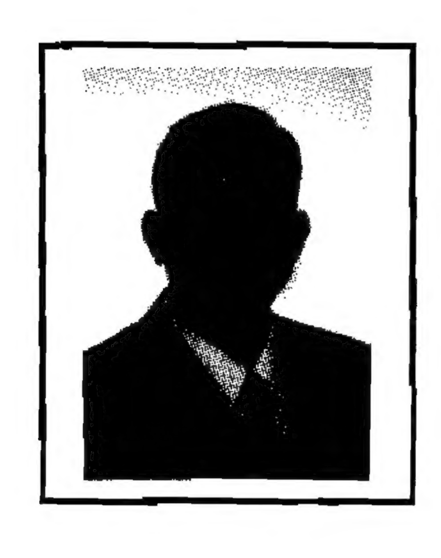
القزم الأبيض نجم نفد منه الوقود وضغطته الجاذبية إلى حوالى حجم الأرض. فالقـــزم الأبـــيض مدعم ضد انكماشات إضافية بضغط انحلال الإلكترون. ومكعب السكر للقزم الأبيض للمادة يزن حجم سيارة عائلية.

الثقب النفق خلال الزمان – المكان الذي يوصل مناطق بينها مسافات شاسعة ومجهزة بطريق مختصر.

الأشعة السينية أحد أشكال الطاقة العالية من الضوء.

بسم الله الرحمن الرحيم

المترجم في سطور



البيانات الشخصية

♦ **الدكتور يعرب قحطان الدُّوري.**

أُستاذ جامعي في فيزياء المواد.
مواليد: بغداد - العراق، عام 1969م.
البريد الإلكتروني: yaldouri@yahoo.com

المؤهلات العلمية

♦ حصل على شهادة دكتوراه دولة بتقدير مشرف جداً مع شكر لجنة المناقشة في فيزياء المواد عام 2000 م، وكان الأول على دفعة الخريجين.

♦ عمل منذ حصوله على دكتوراه دولة في الفيزياء أُستاذاً مساعداً وباحثاً علمياً بمختلف الجامعات العريقة في الجزائر وسنغافورة وماليزيا واليمن وألمانيا وفرنسا.

الخبرات الأكاديمية

♦ نشر 33 بحثاً حتى الآن في مجلات علمية محكّمة دولياً في: الولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة، وألمانيا، وهولندا، وفرنسا، وفنلندا، والصين، ودول عربية.

♦ شارك في 19 مؤتمراً علمي دولي في أوروبا وآسيا وأفريقيا.

♦ رئيس تحرير المجلة الدولية لعلم المواد والمحاكاة .http://ijmss.itwell.us/IJMSS_editors.htm

♦ أشرف على رسائل طلبة الدراسات العليا لنيل شهادة الماجستير.

♦ نال تكريمات علمية وأكاديمية خلال زياراته لمركز العلوم الفيزيائية النظرية والتطبيقية في الأردن وكذلك لقسم فيزياء الحالة الصلبة بجامعة درسدن في ألمانيا.

♦ عضو الجمعيات العلمية للفيزياء والرياضيات في العراق والجزائر والمملكة المتحدة وسنغافورة والاتحاد العربي لعلوم الفضاء والفلك في الأردن.

♦ يجيد التحدث والتدريس الجامعي باللغات العربية والإنجليزية والفرنسية.





QUANTUM THEORY CANNOT HURT YOU
A Guide to the Universe
MARCUS CHOWN

«غريبٌ، مثيرٌ، ومحرّكٌ للعقل».

– مجلة «الطبيعة»

إن إنجازي الفيزياء الحديثة الأهم هما نظريتا الكمية والنسبية لآينشتاين. وهما عملياً تفسران معاً كل شيء عن الكون الذي نعيش فيه. ولكن، وبعد حوالي قرن على إطلاقهما، فإن معظم الناس لا يملك أدنى فكرة عنهما.

و**ماركوس تشاون**، الذي أربكته محاولات غيره لتفسير هذه الأفكار للجماهير العريضة، كوّن انطباعاً بضرورة وجود طريقة أفضل. وهذا الكتاب هو الجواب. فعبْرَ لغة مبسطة، وصفحات قليلة يمكن قراءتها خلال فترة قصيرة، يسلّط الضوء على الفكرتين الأكثر روعة وإثارة في القرن المنصرم.

«ذكي، مسلٍ، وسهل القراءة».

– سيمون سينغ

إن العلم هو أكثر غرابةً من الخيال العلمي...

- مع كل نَفَسٍ تتنشّقه تَدخُلُ صدرك ذرّةٌ زفرتها مارلين مونرو.
- يمكن حشر كامل الجنس البشري في حجم مكعب من السكر.
- ستهرم بسرعة أكبر على سطح بناءٍ ممّا لو كنت أسفله.

كل هذا صحيح، ولكن كيف؟

فكرتان فذّتان هما نظرية الكمية ونظرية آينشتاين العامة حول النسبية تحملان التفسير.

ممتع، منير، وكأنه المستحيل. إن كتاب «نظرية الكمية لا يمكن أن تؤذيك»، يكشف معجزات الفيزياء الحديثة، ويفسّر لماذا تخسر من وزنك أكثر كلما أسرعت في سفرك.

ISBN 978-9953-87-300-8

9 789953 873008

الدار العربية للعلوم ناشرون
Arab Scientific Publishers, Inc.
www.asp.com.lb - www.aspbooks.com

ص. ب. 5574-13 شوران 2050-1102
بيروت – لبنان
هاتف: 785107/8 (1-961+)
فاكس: 786230 (1-961+)
البريد الإلكتروني: asp@asp.com.lb

جميع كتبنا متوفرة على شبكة الانترنت
نيل وفرات.كوم
www.neelwafurat.com